506.49
5675
9697
26

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE PARIS

FONDÉE EN 1788

Smithsonian Institution
184420
FEB 23 1904
National Museum.

NEUVIÈME SÉRIE. — TOME V

N° 1

1902-1903

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

1903

Le Secrétaire-Gérant,
E.-L. BOUVIER.

Le Bulletin paraît par livraisons trimestrielles.

COMPOSITION DU BUREAU POUR 1903

Président : M. Désiré André, 70bis, rue Bonaparte, Paris, VIe.

Vice-Président : M. Dongier, 82, rue Claude-Bernard, Paris, Ve.

Archiviste : M. Henneguy, 9, rue Thénard, Paris, Ve.

Secrétaire des publications : M. E.-L. Bouvier, 39, rue Claude-Bernard, Paris, Ve.

Vice-Secrétaire des publications : M. Henri Neuville, 55, rue de Buffon, Paris, Ve.

Secrétaire des séances : M. Lécaillon, 118, rue Monge, Paris Ve.

Vice-Secrétaire des séances : M. Leau, 6, rue Vavin, Paris, VIe.

Trésorier : M. J. Mabille, 7bis, rue Laromiguière, Paris, Ve.

La Société Philomathique de Paris se réunit les 2e et 4e Samedis de chaque mois, à 8 h. 1/2, à la Sorbonne (salle de travail des Étudiants).

Les membres de la Société ont le droit d'emprunter des livres à la Bibliothèque de l'Université. Ils ont également droit, sur leur demande, à 50 tirages à part gratuits des Mémoires qu'ils publient dans le Bulletin.

Pour le paiement des cotisations et l'achat des publications, s'adresser à M. Reyckaert, Hôtel des Sociétés Savantes, 28, rue Serpente, Paris, VIe.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE PARIS

FONDÉE EN 1788

NEUVIÈME SÉRIE. — TOME V

1902-1903

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

1903

COMPOSITION DU BUREAU POUR L'ANNÉE 1903 :

Président : M. Désiré André, 70bis, rue Bonapate, Paris VIe.
Vice-Président : M. Dongier, 82, rue Claude Bernard, Paris Ve.
Archiviste : M. Henneguy, 9, rue Thénard, Paris Ve.
Secrétaire des Publications : M. E.-L. Bouvier, 39, rue Claude Bernard, Paris Ve.
Vice-Secrétaire des Publications : M. H. Neuville, 55, rue de Buffon, Paris Ve.
Secrétaire des Séances : M. Lécaillon, 118, rue Monge, Paris Ve.
Vice-Secrétaire des Séances : M. Leau, 6, rue Varin, Paris VIe.
Trésorier : M. Mabille, 7bis, rue Laromiguière, Paris Ve.

ABRÉVIATIONS :

M. I.	Membre de l'Institut.
P. F. S.	Professeur à la Faculté des Sciences.
P. M.	» au Muséum.
P. C. F.	» au Collège de France.
P. E. N.	» à l'École Normale supérieure.
P. E. Ph.	» à l'École de Pharmacie.
P. C.	» au Conservatoire des Arts et Métiers.
P. P. C.	» à l'École des Ponts et Chaussées.
P. E. P.	» à l'École Polytechnique.
E. E. P.	Examinateur id.
P. H.	Professeur honoraire.
M. A. M.	Membre de l'Académie de Médecine.
I. G. A.	Inspecteur Général de l'Agriculture.
A. M.	Assistant au Muséum.
P. A. F. M.	Professeur agrégé à la Faculté de Médecine.

45
S67.4
9e Ser
t. 5
1902-1903

Etude et Amitié

LISTE DES MEMBRES

DE LA

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

Fondée en 1788

État de la Société en Avril 1903

PREMIÈRE SECTION. — SCIENCES MATHÉMATIQUES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

1859. Lévy (Maurice), M.I., P.C.F., 5, avenue du Trocadéro.
1860. Haton de la Goupillière (J.-Napoléon), M.I., 56, rue de Vaugirard.
— Mannheim (Amédée), 1, boulevard Beauséjour, Passy.
— Laussedat (Aimé), M.I., Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers.
1861. Tissot (N.-A.), E.E.P., à Voreppe (Isère).
1863. Rouché (Eugène), M.I., 213, boulevard Saint-Germain.

MEMBRES TITULAIRES

1871. Collignon (Edouard), 6, rue de Seine.
— Darboux (Gaston), M.I. (Secrétaire perpétuel), Doyen de la F. des Sc., 36, rue Gay-Lussac.
1872. Jordan (Camille), M.I., P.E.P., P.C.F., 48, rue de Varennes.
1875. Fouret (Georges), E.E.P., 16, rue Washington.
1876. Picquet (Henri), E.E.P., 4, rue Monsieur-le-Prince.
— André (Désiré), P.H., 70 bis, rue Bonaparte.
1878. Léauté, M.I., 20, boulevard de Courcelles.

MM.

1878. Laisant, E.E.P., 162, avenue Victor-Hugo.
— Tannery, Dir. des Sc. à l'École Normale sup., 45, rue d'Ulm.
1881. Le prince C. De Polignac, Radmannsdorf. Carniole (Autriche).
— Humbert (Georges), M.I., 10, rue d'Aubigny.
— Chemin, P.P.C., 33, avenue Montaigne.
1884. Lévy (Lucien), E.E.P., 12, rue du Regard.
1887. Kœnigs, P.F.S., 101, boulevard Arago.
1892. Bioche, Prof. Louis-le-G., 56, rue Notre-Dame-des-Champs.
1893. D'Ocagne, 30, rue de La Boétie.
1900. Leau, Prof. Stanislas, 6, rue Vavin.
— Le Roy, Prof. Stanislas, 8, rue de l'Abbé de l'Epée.
1902. Deschamps, 11, rue du Sommerard.
1903. Grévy, Prof. St-Louis, 62, rue St-Placide.

DEUXIÈME SECTION. — SCIENCES PHYSIQUES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

1855. Berthelot (Pierre-Eugène-Marcellin), M.I. (Secrét. perpét.), P.C.F., 3, rue Mazarine (Institut).
1860. Riche (Alfred), 11, quai Conti, à la Monnaie.
1861. Gaudry (Albert), M.I., P.M., 7 bis, rue des Saints-Pères.
1862. Troost (Louis), M.I., P.H.F.S., 84, rue Bonaparte.
— Le Roux, P.E. Ph., 120, boulevard Montparnasse.
1863. Luynes (Victor de), P.C., 16, rue Vaugirard.
— Grandeau (Louis), I.G.A., 4, avenue de la Bourdonnais.
1864. Wolf (Charles), M.I., P.F.S., 1, rue des Feuillantines.
1865. Janssen, M.I., Dr de l'Observatoire de Meudon (S.-et-O.).
1872. Gernez (Désiré), P.E.N., 18, rue Saint-Sulpice.
1873. Fron, Météorologiste tit. au Bureau Central, 176, rue de l'Université.

MEMBRES TITULAIRES

MM.

1874. Branly, Profess. à l'Inst. catholique, 21, avenue de Tourville.
1875. Cailletet, M.I., 75, boulevard Saint-Michel.
— Thénard (Arnould), 6, place Saint-Sulpice.
1876. Bouty, P.F.S., 9, rue du Val-de-Grâce.

MM.

1877. Lippmann (Gabriel), M.I., P.F.S., 10, rue de l'Éperon.
1880. Duter, P.H., 47, rue Taitbout.
— Pellat (Henri), P.F.S., 3, avenue de l'Observatoire.
— Becquerel (H.), M.I., P.M., 6, rue Dumont-Durville.
1882. Cochin, député, 53, rue de Babylone.
1884. Bourgeois (Léon), A.M., 1, boulevard Henri IV.
1886. Bordet (Lucien), 181, boulevard Saint-Germain.
1887. Vallot (Joseph), Dir. de l'Obs. du Mont-Blanc, 114, avenue des Champs-Elysées.
1901. Vincent, Profess. Lycée Saint-Louis, 8, rue de l'Abbé de l'Épée.
— Benoist, Profess. Lycée Henri IV, 26, rue des Écoles.
— Dongier, Sous-direct. de Laboratoire F. Sc., 82, rue Claude Bernard.
1902. Ponsot, Prof. Lyc. Janson, 26, rue Gustave Courbet.
— Matignon, Maître de Conf. F.Sc., 17, boulevard Carnot, Bourg-la-Reine.
1903. Winter, 44, rue Saint-Placide.
— Desgrez, P.A.F.M., rue Saint-Jacques.
— Daniel Berthelot, P.E. Ph., 3, rue Mazarine.

TROISIÈME SECTION. — SCIENCES NATURELLES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

1856. Prillieux (Ed.), M.I., Sénateur, 14, rue Cambacérès.
1860. Marey (Jules-Étienne), M.I., P.C.F., 11, boulevard Delessert, entre Passy et Trocadéro.
1862. Bureau (Ed.), P.M., M,A.M., 24, quai de Béthune.
1863. Vaillant (Léon-Louis), P.M., 36, rue Geoffroy Saint-Hilaire.
1864. Alix (P. H. E.), P.H. Inst. Cat., 10, rue de Rivoli.
1871. De Seynes (Jules), P.A.F.M , 14, rue Chanaleilles.
— Grandidier, M.I, 6, rond-point des Champs-Elysées.
— Van Tieghem (Philippe), M.I., P.M., 22, rue Vauquelin.
— Chatin (Joannès), M.I., P.F.S., 174, boulevard St-Germain.
1872. Oustalet (Emile), P.M., au Muséum.
1879. Henneguy (Louis-Félix), P.C.F., 9, rue Thénard.

MEMBRES TITULAIRES

MM.

1882. Mabille (Jules), 7 bis, rue Laromiguière.
1883. Mocquard, A.M., 40, boulevard Saint-Marcel.
1886. Bouvier, M.I., P.M., 38, rue Claude-Bernard.
1888. Morot, A.M., 9, rue du Regard.
— Drake del Castillo, 2, rue Balzac.
1890. Roché, 47, boulevard Saint-Germain.
1893. Hua, 254, boulevard Saint-Germain.
— Jousseaume, 25, rue Gergovie.
— De Guerne, 6, rue de Tournon.
1894. Bonaparte (prince Roland), 10, avenue d'Iéna.
1899. Lécaillon, Prép. Col. de Fr., 118, rue Monge.
— Neuville, Prép. Muséum, 55, rue de Buffon.
1901. Pellegrin, Prép. Muséum, 143, rue de Rennes.
— Guieysse, 7, rue de la Santé.
1902. Chauveaud, Direct. adj. de Lab. (Hautes-Études), 61, rue de Buffon.
— Rabaud, 104, rue d'Assas.
— Lesage, 49, rue de Lille.
— Anthony, 12, rue Chevert.
1903. Coutière, P.E.Ph., Ecole de Pharmacie.
— Langeron, Prép. F.M., 15, rue de l'Ecole-de-Médecine.

BANQUET ANNUEL

Le banquet annuel, commémoratif du 115e anniversaire de la fondation de la Société, a eu lieu le lundi 9 février 1903, au restaurant Champeaux, sous la présidence de M. Désiré André, Président de la Société.

Conformément à un ancien usage qu'il tenait à faire revivre, M. Albert Gaudry, l'illustre paléontologiste, avait voulu prendre part à cette fête en sa qualité de Président de l'Académie des Sciences.

Les vingt-six membres, dont les noms suivent, ont pris part au banquet :

MM. D. André, Anthony, Benoist, E.-L. Bouvier, Chauveaud, Deschamps, Dongier, Fouret, A. Gaudry, Grévy, de Guerne, F. Henneguy, Hua, Laisant, Lécaillon, Le Roy, Lesage, Mocquard, Oustalet, Pellegrin, Picquet, Ponsot, Prillieux, Rabaud, Léon Vaillant, Vincent.

MM. Caillelet, Bureau, Bourgeois, Lucien Lévy, Maurice Lévy, Leau et Neuville, retenus au dernier moment, s'étaient excusés par dépêche ou par lettre.

Au champagne, M. D. André prononce le discours suivant :

« Messieurs et chers Confrères,

» Tous ceux d'entre nous qui ne sont pas très jeunes ont assisté, le lundi 10 décembre 1888, en la salle même où nous sommes, au Banquet du centenaire de la Société Philomathique. C'était à la fois le Banquet du centenaire et le Banquet annuel. Ce fut une fête toute de cordialité, toute d'amitié ; mais une fête sans lendemain. Pendant près de quinze ans, on cessa de se réunir en dehors des séances ordinaires ; la tradition du Banquet annuel sembla abandonnée. Vous le voyez, Messieurs et chers Confrères, elle n'était qu'interrompue.

» D'où provenait cette interruption ? De la crise que traversait alors notre Société. Cette crise était si grave que la Société semblait devoir bientôt disparaître. Les pessimistes parlaient déjà de dissolution, autant dire de suicide. Les optimistes étaient sinon effrayés,

du moins très inquiets. Le fait inquiétant, c'était la diminution du nombre de nos membres titulaires. Or, pour qu'une société comme la nôtre soit florissante, pour qu'elle se recrute facilement, il faut qu'elle soit toujours au complet. C'est quand une salle est remplie, qu'on a le plus envie d'y entrer.

» Chez nous, vous le savez, les vides se font régulièrement, automatiquement, par la promotion des membres titulaires à l'honorariat. C'est pour nous une loi fondamentale, à laquelle nous ne devons point toucher. J'en ai entendu faire de grands éloges. Il est bien certain qu'elle permet à un membre déjà ancien de céder sa place à un membre nouveau, sans avoir besoin de sortir lui-même ni de ce monde, ni de notre société.

» Par malheur, les vides ainsi produits se comblaient difficilement ; le recrutement devenait pénible. C'était, semble-t-il, le résultat de deux causes différentes : le taux élevé de notre cotisation, le caractère encyclopédique de notre société.

» La première de ces causes a été supprimée, car nous avons ramené la cotisation à un taux très modique. La seconde, celle qui tenait au caractère encyclopédique de notre société, n'a point disparu ; mais elle paraît en train de changer de sens, de passer, comme on dit en algèbre, du négatif au positif, c'est-à-dire, de devenir, d'une cause d'éloignement qu'elle était, une véritable cause d'attraction.

» Vers l'année 1875, un peu avant ou un peu après, s'étaient fondées, dans notre pays, une foule de sociétés savantes spéciales, la Société mathématique de France, la Société française de physique, etc., etc., dont la plupart sont maintenant florissantes. Les savants y étaient accourus tout de suite, heureux de se trouver dans un milieu de leur choix, où tout le monde parlait leur langue ; ils avaient délaissé un milieu comme le nôtre, où l'on s'occupe de tout. Il semble, au contraire, à présent, que beaucoup de bons esprits, tout en restant fidèles à leur science de prédilection, ne dédaignent point les autres, s'y intéressent, aiment à savoir ce qui s'y passe. C'est pour ceux-là que notre société est faite. Elle recommence à les attirer.

» Et puis, ne l'oublions pas, nos réunions de quinzaine ont pour nous un charme très grand, celui des relations si cordiales qui existent entre nous. Elles tiennent, et largement, tout ce que promettent les deux mots de notre vieille devise : « Étude et Amitié ».

» Sortie victorieuse des difficultés dont j'ai trop longtemps parlé,

installée dans ce local de la Sorbonne, qu'elle doit à la bienveillance de notre cher confrère, M. Darboux, la Société Philomathique est entrée depuis quelque temps dans une ère nouvelle. Souhaitons que son avenir soit digne de son glorieux passé ; buvons tous, Messieurs et chers Confrères, à sa prospérité, à sa durée, et même, dès à présent, à son second centenaire. »

Ce discours est accueilli par des applaudissements unanimes et répétés.

M. le Professeur Albert Gaudry se lève ensuite et improvise la charmante allocution suivante :

« Mes chers Confrères,

» Comme chacun de vous, j'ai reçu une invitation pour le banquet d'aujourd'hui. J'ai consulté mon ami M. Bouvier : je suis si vieux, lui ai-je dit, que sans doute je suis inconnu à la plupart de nos confrères ; mais il était d'usage, dans mon temps, que le Président de l'Académie des sciences prît part au banquet annuel de la Société Philomathique. Que dois je faire ? — N'hésitez pas, m'a répondu M. Bouvier, il faut venir. — Et je suis venu pour me conformer à une ancienne coutume, et surtout parce que j'ai gardé de la Société Philomathique un affectueux, un charmant souvenir.

» J'y suis entré en 1861. Elle n'est pas longue la liste des membres encore vivants que j'y trouvai alors ; elle comprend huit noms :

» M. Berthelot, entré en 1853 ;

» M. Prillieux, entré en 1856.

» MM. Mannheim, Laussedat, Haton de la Goupillière, Marey et Riche, entrés en 1860.

» M. Tissot, entré en 1861.

» J'ai vu nommer :

» MM. Troost, Le Roux, Fernet, Grandeau, Bureau, en 1862.

» MM. Vaillant, Rouché, de Luynes, en 1863.

» M. Wolf, en 1864.

» M. Janssen, en 1865.

» Nos autres confrères sont entrés à des époques plus récentes.

» Je me rappelle encore nos séances de la petite rue de Nesle. Je crois entendre M. Berthelot nous parlant des carbures d'hydrogène, de l'acétylène, de la proportion de potasse et d'acide tartrique qui se trouve dans le Médoc, le Pomard et d'autres bons vins comme ceux qu'on nous sert en ce moment. Pasteur n'était pas toujours du même avis ; cela donnait de l'animation. M. Léon

Vaillant était un de nos membres les plus actifs : il nous mettait au courant de la zoologie. Paul Bert était aussi très zélé, il nous intéressait avec sa greffe animale. Alix, le collaborateur du bon Gratiolet, nous exposait des faits de myologie, une étude peu répandue aujourd'hui. Alphonse Milne-Edwards nous apprenait l'histoire des Oiseaux fossiles. M. Marey commençait ses ingénieuses recherches sur les mouvements de l'Homme et des animaux. Vulpian nous initiait aux phénomènes du système nerveux. Qui d'entre nos anciens ne se souvient des communications d'Armand Moreau sur la vessie natatoire des poissons? Trécul, MM. Prillieux, Bureau, nous dévoilaient les merveilles du monde végétal. MM. Wolf et Janssen nous parlaient du ciel. Les physiciens et les mathématiciens surtout occupaient nos séances. Je vois l'aimable et savant Abel Iranson, faisant des discours tout en chiffres, avec autant d'animation que nous en mettrions dans un discours composé de mots ; dans son énergie, il brisait la craie sur le tableau. Nous, naturalistes, nous ne comprenions pas grand chose. Cependant nous étions contents ! Il nous plaisait de passer en revue toutes les connaissances humaines, car il nous semblait qu'en même temps notre âme grandissait.

» Lorsqu'un savant avance dans sa carrière, il comprend qu'il doit se spécialiser, s'il veut faire œuvre originale. Celui qui vous parle, mes chers confrères, passe en partie sa vie à interroger les bêtes fossiles ; il cause avec elles plus souvent qu'avec des hommes d'esprit comme ceux qui sont auprès de lui ce soir. Nous creusons notre trou, que nous faisons aussi profond que possible ; mais plus nous nous y enfonçons pour le bien de notre science, plus nous perdons de vue le reste du monde. Il importe donc qu'avant de nous livrer à des études spéciales, nous ayons des vues générales.

» La Société Philomathique nous rend ce service ; elle nous donne un ensemble de connaissances indispensables au vrai savant. Aussi, malgré toutes les Sociétés particulières qu'engendrent les progrès de la science, elle restera chère aux grands esprits.

» Et comment ne l'aimerait-on pas cette Société qui, ainsi que vient de vous le rappeler notre éminent Président M. André, a une si jolie devise : Étude et Amitié ! Mes chers confrères, je me suis laissé dire que quelques hommes politiques mettent en avant notre belle devise nationale : Liberté, Égalité, Fraternité, et que parfois ils l'oublient. Mais vous, jamais vous n'oubliez votre devise. Elle est gravée dans vos cœurs aussi bien que sur votre médaille. Je lève mon verre en l'honneur de la Société Philomathique, fidèle à sa devise. »

Des murmures approbatifs ont fréquemment accueilli l'illustre orateur et la fin de son allocution a été couverte d'applaudissements.

M. Désiré André, au nom de la Société tout entière, remercie M. Albert Gaudry qui a bien voulu rehausser la fête de son charme personnel et de la haute situation que lui donne son rang de président actuel de l'Académie des sciences. Il porte un toast à M. Gaudry et aux anciens membres de la Société.

M. Henneguy se lève ensuite et, aux applaudissements de tous, porte un toast à M. D. André, qui, plus que tout autre, a contribué à rendre à la Société Philomathique l'activité et la vigueur qu'elle possédait autrefois. Après une longue et fort agréable soirée, on s'est séparé en se donnant rendez vous à l'année prochaine, pour le 116e anniversaire de la Société.

Extrait des Comptes-rendus

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

du 25 octobre 1902 au 28 mars 1903

Séance du 25 octobre 1902

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

M. Rabaud présente la candidature de M. le Dr Anthony, dans la 3e section.

Séance du 8 novembre 1902

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

L'échange du *Bulletin* est accordé à la Société scientifique de Giessen.

M. Dongier présente la candidature, dans la 2e section, de M. Matignon, maître de conférence de chimie à la Faculté des Sciences.

M. André présente la candidature, dans la 1re section, de M. Grévy, professeur au Lycée Saint-Louis.

M. Dongier fait une causerie sur le montage des sources électriques en tension et en quantité.

M. D. André fait une communication sur quelques questions de géométrie élémentaire.

M. Laisant fait une communication sur une propriété élémentaire du triangle [Voir *Bulletin de la Société Philomathique,* nos 3-4, 1901-1902].

Séance du 22 novembre 1902

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Election de M. Anthony.

M. Deschamps expose les principes de la Biologie rationnelle [Voir *Bulletin*, nos 3-4, 1901-1902].

Séance du 13 décembre 1902

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Elections de MM. Matignon et Grévy.

M. le Président annonce la mort de M. Hautefeuille, membre de la Société, et exprime les regrets que cette mort cause à tous.

M. André fait une communication relative à une méthode de division d'une circonférence en un nombre déterminé de parties égales.

Séance du 27 décembre 1902

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Une Commission, composée de MM. Dongier, Lécaillon et Rabaud, est chargée d'organiser le banquet annuel de la Société.

M. André fait part à la Société du travail qu'il a fait relativement aux publications de M. Vicaire, ancien président de la Société [Voir *Bulletin*, nos 3-4, 1901-1902],

M. Dongier présente la candidature, dans la 2e section, de M. Winter, chef de laboratoire à la Faculté de médecine de Paris.

Séance du 10 janvier 1903

(Assemblée générale)

PRÉSIDENCE DE M. DE GUERNE

M. Dongier est élu vice-président pour l'année 1902-1903.
M. Bouvier — secrétaire des publications.
M. Henneguy — archiviste.
M. Mabille — trésorier.
M. Lécaillon — secrétaire des séances.
M. Leau — vice-secrétaire des séances.
M. Neuville — — des publications

MM. Deschamps, Rabaud et Vincent sont nommés membres de la Commission des Comptes.

M. de Guerne, président sortant, remercie la Société de la sympathie qu'elle lui a témoignée pendant la durée de sa présidence. M. D. André, vice-président, devient, selon l'usage, président pour l'année 1902-1903.

M. Dongier fait une communication sur la « résistivité magnétique ».

Séance du 24 janvier 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Sur la proposition de M. Lesage, l'Assemblée décide de demander aux membres nouvellement élus, de faire une causerie sur leurs travaux.

La date du banquet annuel est définitivement fixée au lundi 9 février. Il aura lieu au restaurant Champeaux.

M. Bouvier présente la candidature, dans la 3e section, de M. Coutière, professeur à l'Ecole supérieure de Pharmacie de Paris.

M. Anthony rend compte des expériences tératogéniques qu'il a faites sur une tête de chien.

Séance du 14 février 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Election de M. Winter dans la 2e section.

M. Dongier présente les candidatures de MM. Daniel Berthelot, professeur à l'Ecole supérieure de pharmacie de Paris, et Desgrez, dans la 2e section.

L'Assemblée décide que la prochaine Réunion générale aura lieu le 14 mars.

M. le Président adresse ses remerciements à la Commission du banquet pour le zèle dont elle a fait preuve.

L'Assemblée décide que des extraits des procès-verbaux des séances seront dorénavant publiés au *Bulletin* de la Société.

M. C. A. Laisant développe l'idée de la création d'observatoires souterrains destinés à l'étude des phénomènes sismiques, surtout en ce qui concerne la mesure des températures et des pressions, peut-être aussi l'observation de l'état magnétique. Il entend par là le creusement de forages à grandes profondeurs, dans lesquels seraient descendus, à des stations échelonnées à diverses hauteurs, les instruments appropriés aux observations. Pour une telle organisation, le concours des géologues et des physiciens est indispensable, et il serait nécessaire d'arriver à une entente internationale ayant pour objet de généraliser et de coordonner les observations dont il s'agit. La collaboration de l'industrie minière pourrait aussi être utile dans une certaine mesure.

Tant que l'on ne se sera pas attaché à l'examen systématique des phénomènes physiques qui s'accomplissent en temps normal

dans l'épaisseur de la croûte terrestre, les théories sismographiques conserveront un caractère hypothétique et vague, contraire à l'esprit scientifique. Si ingénieuses qu'elles puissent être, si ardentes que deviennent les polémiques soulevées, elles contribueront faiblement à faire progresser une science dont le développement aurait cependant pour l'humanité un intérêt considérable.

Séance du 28 Février 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Élection de M. Coutière dans la 3e section.

M. Laisant, en son nom et en celui de M. le colonel Mannheim, présente la candidature, comme membre correspondant dans la 1re section, de M. le commandant Brocard, 75, rue des Ducs, à Bar-le-Duc.

M. Deschamps fait une communication sur la théorie des lentilles. Il montre que la théorie actuelle présente de nombreuses imperfections. D'une part elle aboutit à des calculs trop compliqués ou d'une approximation trop éloignée. D'autre part, malgré les perfectionnements apportés par la méthode de Gauss, elle ne fournit pas une méthode graphique simple et rigoureuse pour construire la marche des rayons lumineux dans une lentille ou dans un système de lentilles. Cette méthode est d'ailleurs absolument inapplicable lorsqu'on veut suivre les rayons de réfrangibilités différentes.

En rattachant la théorie de la réfraction à celle de l'homographie, on lui donne sa véritable signification, et l'on éclaire ainsi tout cet ensemble jusqu'à présent très confus. On est de plus conduit à une méthode graphique, à la fois très simple, très rapide et très rigoureuse, permettant de construire les images fournies par une lentille ou un système de lentilles, si compliqué qu'il soit.

Ces constructions ont en outre l'avantage de présenter la question de l'achromatisme sous une forme concrète qui permet de la résoudre d'une façon relativement très simple. On peut ainsi obtenir une correction très parfaite des aberrations chromatiques dans les instruments d'optique.

Séance du 14 mars 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Elections de MM. Berthelot et Desgrez.

M. Deschamps, au nom de la commission des comptes, donne lecture du rapport suivant :

Messieurs et chers Confrères,

Au nom de votre Commission des Finances qui s'est réunie pour examiner et régler les comptes de l'année écoulée 1901-1902, j'ai l'honneur de vous soumettre le rapport suivant sur notre situation financière :

1° Recettes

Nos recettes de toute nature se sont élevées à la somme totale de 11,744 fr. 33 c. qui se décompose ainsi :

Actif au 1er janvier 1902	8.671 fr. 74 c.
Montant des cotisations.	460 »
Abonnement et vente du *Bulletin*	140 »
Subvention ministérielle	1.000 »
Intérêt des obligations	230 » 59
3 obligations 2 $^1/_2$ P. L. M à 414 fr.	1.242 »
Total des recettes . . .	11.744 fr. 33

2° Dépenses

Nos dépenses se sont élevées à la somme totale de 2,923 fr. 27 c. ainsi répartie :

Ports de lettres et de *Bulletin*		109 fr. 32
Imprimés		60 »
Impressions du *Bulletin* et tirés à part	843 fr. 60	996 » 95
Clichés	12 » 85	
Dessins et planches	140 » 50	
Etrennes du facteur et du concierge		15 »
Appointements de M. Oezinand		200 »
— de M. Reyckaert.		300 »
Achat de 3 obligations 2 $^1/_2$ P. L. M.		1.242 »
Total des dépenses . . .		2.923 fr. 27

Il en résulte pour les recettes un excédent de 8.821 fr. 06.

Recettes.	11.744 fr. 33
Dépenses	2.923 » 27
	8.821 fr. 06

Cet excédent de recettes constitue notre actif au 1er janvier 1903, qui se décompose ainsi :

Entre les mains de M. Mabille, trésorier :		
14 obligations d'Orléans . . .	5.460 fr.	7.743 fr. 64
25 fr. 3 %	811 » 05	
3 obligations 2 ½ P. L. M. . .	1.242 »	
Espèces.	230 » 59	
Entre les mains de M. Reyckaert, notre agent :		1.077 fr. 69
		8.821 fr. 33

Notre situation est donc prospère, et notre prospérité tient à deux causes principales : 1° la petite fortune accumulée par la Société dans son siècle un quart d'existence ; 2° l'absence totale de dépenses pour le logis, le chauffage et l'éclairage. Nous devons donc nous estimer bien heureux d'avoir ainsi recueilli la succession de nos prédécesseurs, et nous féliciter tous les jours davantage de la bonne fortune qui a fait de la Sorbonne notre demeure.

Je ferai remarquer cependant que notre situation peut et doit encore s'améliorer. On voit, en effet, pour quelle faible partie, 460 fr. seulement, entre dans les recettes le montant des cotisations. Cela tient à ce que nos cadres sont incomplets. Le montant des cotisations des membres titulaires devrait, en effet, s'élever à 1,200 francs. Il est donc urgent, aussi bien au point de vue financier qu'au point de vue de la constitution et du bon fonctionnement de notre Société, que nous recrutions de nouveaux membres, et cela jusqu'à compléter notre effectif normal de membres titulaires.

Je ne doute pas que ce résultat ne soit bientôt atteint, car notre Société, bien qu'ayant un peu fléchi aux approches de son Centenaire, entre dans une nouvelle phase de jeunesse et de prospérité. Cet heureux résultat est dû aux efforts infatigables de ses anciens et fidèles membres, qui ont su ne pas désespérer, et dont l'initiative intelligente et féconde a obtenu les privilèges qui sont un des éléments de notre prospérité matérielle. Il est dû également à la bonne gestion de nos intérêts par notre cher trésorier et confrère, M. Mabille, auquel j'adresse, au nom de la Commission des finances et de la Société tout entière, nos plus sincères remerciements, avec charge à lui d'en distribuer à M. Reyckaert, notre agent si dévoué, la part qui lui en revient très légitimement. »

L'Assemblée, à l'unanimité, adopte les conclusions du rapport de M. Deschamps.

M. Rabaud rend compte d'une monstruosité qu'il a observée chez le Chat. Il a observé chez un monstre déradelphe (Chat) une

disposition singulière de la trachée et de l'œsophage. Dans les cas réguliers, il existe un œsophage compris entre deux trachées. Dans le cas actuel, l'une des trachées seule s'est séparée de son origine; l'autre forme avec l'œsophage un seul et unique conduit. Ce conduit a, extérieurement, la constitution d'une trachée jusqu'au niveau du cœur où il émet deux branches. Au-dessous, apparaît l'aspect œsophagien. Le conduit est continué par un seul estomac.

Séance du 28 mars 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

L'Assemblée décide de publier le rapport de la Commission des comptes dans le Bulletin de la Société.

Élection de M. le commandant Brocard comme membre correspondant dans la 1re section.

M. Grévy présente la candidature de M. le Dr Langeron, préparateur à la Faculté de Médecine, dans la 3e section.

M. Winter fait une causerie sur les recherches qu'il a entreprises. Il rappelle les grandes phases de l'histoire du suc gastrique : découverte de son pouvoir dissolvant par Réaumur, de son acidité, de l'acide chlorhydrique (1824), de la pepsine (1838). Il signale les controverses soulevées au sujet de la nature de l'acide gastrique, les expériences et le principe de Bidder et Schmidt consacrant l'équivalence entre l'acidité et l'excès de chlore non minéralisé du suc gastrique, excès qu'ils ont rapporté à l'HCl. Il montre pour quels motifs Claude Bernard a toujours nié l'existence de l'HCl dans l'estomac et comment M. Charles Richet (1878) fut amené à admettre, non pas de l'HCl, mais une combinaison chlorhydrique acide ; comment la clinique, cherchant à utiliser le principe de Bidder et Schmidt, s'est débattu au milieu de la confusion ; comment, enfin, il a pu lui-même, en 1888, par le fractionnement systématique de l'évaporation du suc gastrique, mettre en évidence la coexistence habituelle dans ce liquide de trois formes différentes du chlore : chlorures minéraux, chlorhydrates organiques acides et acide chlorhydrique, sinon absolument libre, du moins sous la forme d'un acide fort se dédoublant très facilement en donnant de l'HCl.

Le Secrétaire des Séances,

A. LÉCAILLON.

REMARQUES SUR L'UTILITÉ DES OBSERVATOIRES SOUTERRAINS

par M. C. A. LAISANT.

Lorsque se produisit, en 1902, la catastrophe de St-Pierre Martinique, la plupart des publications scientifiques, et souvent des journaux quotidiens, furent aussitôt remplis de théories diverses sur la nature et l'origine des phénomènes volcaniques. Des polémiques ardentes ne tardèrent pas à s'élever entre les partisans d'hypothèses contradictoires.

Malgré le talent et l'ingéniosité dépensés dans cette lutte, il me sembla que l'on se battait surtout dans les ténèbres, c'est-à-dire qu'on manquait de la substance essentielle : la connaissance des faits, qui seule peut conduire à pressentir les lois, et plus tard à les établir.

C'est sous cette impression qu'au mois de juin 1902, dans le journal hebdomadaire *La Raison*, je publiai un premier article sur la question qui fait l'objet de la présente communication et qui sera développée un peu plus loin.

Mon appel étant resté sans écho, je ne m'occupais plus guère de la question, lorsque récemment la publication, parue dans la *Revue Scientifique*, d'une théorie volcanique nouvelle, m'a conduit à engager une correspondance avec ce recueil périodique bien connu. Dans son n° du 7 février 1903, la *Revue Scientifique* a analysé ma lettre, reproduit une bonne partie de l'article de *La Raison*, et fait suivre cette reproduction de réflexions tellement bienveillantes, qu'elles ont été pour moi un encouragement, et m'ont déterminé à faire à la *Société Philomathique* la présente communication, et à reprendre ainsi la défense d'une idée que je crois juste, et que je n'ai pas cessé de juger réalisable.

En général, il ne me plaît guère d'écrire ou de parler sur des sujets qui ne rentrent pas dans le cadre de mes études habituelles. Ici, cependant, j'ai une excuse, et je tiens à la faire valoir. C'est que, jadis (il y a bien des années, c'était en 1875) je fus conduit, comme chef du génie, à collaborer pratiquement à l'œuvre de création du service météorologique en Algérie, service à la tête duquel se trouvait mon ami, le commandant Brocard, alors capitaine, sous la haute direction du général Farre. Quelques années plus tard, étant devenu député, je travaillai de tous mes efforts à l'organisation du service météorologique, et en particulier du

Bureau central. Les questions de physique du globe ne me sont donc pas indifférentes.

Or, si la météorologie n'est pas une science faite, il s'en faut de beaucoup, elle a du moins accumulé un ensemble considérable d'observations systématiques régulièrement poursuivies, bien coordonnées ; c'est de là peut-être que dans l'avenir on pourra déduire des lois ; dès à présent, les indications ont une valeur pratique sérieuse, et même sous leur forme empirique rudimentaire, elles ont sauvé certainement bien des existences humaines, grâce aux avertissements météorologiques, répandus de toutes parts.

En est-il ainsi pour les phénomènes sismographiques, qui s'accomplissent dans l'épaisseur de la croûte terrestre ? Assurément non. En ces matières, on s'est borné à étudier les oscillations de la surface, à l'aide de sismographes, instruments précieux donnant des indications utiles ; je suis de ceux qui applaudiront à tous les perfectionnements qui pourront se produire dans ce sens. Mais les sismographes ne font et ne feront jamais connaître que ce qui se passe « à la surface » ; et pour démêler les lois possibles de la sismographie, il est indispensable d'examiner ce qui se passe « dans l'épaisseur de l'écorce. » Scientifiquement, tant qu'on n'aura pas commencé à s'orienter dans ce sens, on n'aura rien fait.

C'est pour arriver à l'observation de ces phénomènes que j'ai préconisé le creusement de forages profonds, dans lesquels seraient descendus, à diverses hauteurs, les appareils de mesure. Les deux éléments les plus essentiels à déterminer seraient à mon avis la température et la pression. Il y aurait aussi intérêt à prélever des échantillons de gaz, qui seraient soumis à l'analyse. Enfin, on jugerait sans doute qu'il peut être utile de déterminer certains autres éléments physiques, relatifs par exemple à l'état magnétique ; mais tout cela pourrait être étudié à loisir ultérieurement ; c'est sur le principe même que j'insiste.

Les appareils nécessaires seraient pour la plupart des enregistreurs, donnant à l'extérieur leurs indications ; de sorte qu'une fois logés en place, ils n'auraient plus besoin d'être remontés au niveau du sol. La météorologie les possède en grand nombre déjà, et s'il fallait leur faire subir quelques modifications en raison de leur destination nouvelle, on peut s'en rapporter sur ce point à l'habileté de nos constructeurs. De toutes façons, il n'y aurait, de ce chef, rien de difficile, ni même de réellement onéreux.

Quant à l'exécution des forages eux-mêmes, il semble que là soit le gros obstacle pratique. Cependant, lorsqu'on voit avec quelle

rapidité, et avec quelle économie relative, sont effectués les forages des puits à pétrole dans l'Amérique du Nord, on ne peut plus regarder cet obstacle comme insurmontable. Les sondages opérés dans un but de recherches, principalement en ce qui concerne les houillères, doivent être aussi une indication utile.

Du reste, bien qu'en principe il y ait un intérêt scientifique évident à pousser les forages aux plus grandes profondeurs possibles, il est incontestable que, sur certains points, des profondeurs de quelques centaines de mètres seulement fourniraient déjà des indications d'un haut intérêt.

Pour parler seulement, par exemple, de la température, on ne peut nier que nous soyons jusqu'ici dans un état de totale ignorance. La loi qui lie la température à la profondeur n'est très probablement pas une loi de rigoureuse proportionnalité; en outre, il est à peu près certain qu'elle varie d'un point à un autre. La connaissance approximative des surfaces isothermes, ne fût-ce que jusqu'à 500 mètres de profondeur, n'aurait-elle donc aucune importance? D'autre part, en un point déterminé, à une profondeur constante, cette température est-elle rigoureusement constante? Peut-on y constater, au contraire, des variations périodiques? Et s'il se présente seulement des variations accidentelles, existe-t-il quelque corrélation entre ces variations et les phénomènes sismiques extérieurs (oscillations, tremblements de terre ou éruptions volcaniques)? A toutes ces questions, il n'y a qu'une réponse sincère possible : nous n'en savons rien. Et cependant il serait utile de savoir au moins quelque chose.

Il s'agirait, non pas de multiplier au hasard les observatoires souterrains dont nous venons de parler, c'est-à-dire ces forages pourvus des instruments appropriés, mais bien de les placer le plus judicieusement possible. A ce sujet, la Géologie aurait toute autorité, en même temps que toute compétence ; et c'est à une réunion de géologues éminents qu'il y aurait lieu de faire appel, en leur demandant de désigner les emplacements, avec leur rang d'importance. Le programme ainsi tracé serait ensuite exécuté progressivement.

Dès maintenant, je me permets d'attirer l'attention sur les régions où se trouvent d'anciens volcans, et sur celles où l'on constate la présence de sources thermales. Par exemple, dans la France continentale, les monts d'Auvergne, le territoire de Vichy mériteraient à mon avis une étude attentive. Lorsqu'à fleur du sol, on voit sortir de l'eau à une température de 50°, il est certain

que ce phénomène a une cause ; il est probable que cette cause n'est pas fort lointaine en profondeur ; et il y aurait lieu par conséquent de tâcher de savoir ce qui se passe dans le sous-sol.

On pourrait objecter le danger de compromettre par ces travaux de forages l'existence des sources thermales actuelles. Mais les données géologiques permettraient sûrement de l'éviter ; il faudrait procéder avec circonspection et prudence. Un seul forage ainsi pratiqué dans la région, mais non au voisinage immédiat d'une source, n'offrirait aucun péril. Peut-être même les forages profonds feraient-ils découvrir de nouvelles richesses ; d'ailleurs, la prudence et l'économie ne sauraient aller jusqu'à s'opposer aux recherches scientifiques ; sans cela, les sciences naturelles ne feraient aucun progrès.

Si j'attache une importance considérable au creusement des forages profonds, beaucoup plus faciles, je le répète, et beaucoup moins coûteux qu'on ne l'imagine communément, je considère comme plus urgente encore l'organisation d'un service sismographique régulier, systématique, analogue au service météorologique. Il serait en effet possible de tirer parti de ce qui est fait déjà ; si je tiens à développer rapidement ce côté de la question, c'est que tout d'abord j'avais douté de cette possibilité ; mais de très justes observations m'ont fait revenir de cette opinion première.

Il existe des exploitations minières où les puits, praticables aux hommes et au matériel, descendent jusqu'à une profondeur de 1000 mètres, et même un peu au delà. Pour rendre possible l'habitation temporaire des galeries à de telles profondeurs, et aussi la sécurité, une ventilation puissante, naturelle ou artificielle, est indispensable. S'il existe plusieurs puits voisins, on s'attache à les mettre en communication les uns avec les autres ; on assure une large circulation d'air, un balayage de gaz énergique ; et il me semblait que ces circonstances devaient altérer singulièrement les conditions de température et de pression, au point de rendre illusoire toutes observations. On m'a fait remarquer que si c'était vrai dans les galeries où l'on circule, il suffirait de pratiquer, à partir de ces galeries, des forages de quelques mètres, à peu près horizontaux, et de placer les instruments à l'extrémité d'un tel forage, au besoin dans une chambre préparée à cet effet, pour qu'ils se trouvassent dans des conditions d'isolement qui rendraient les observations excellentes.

De ce fait, sans qu'il y ait à insister davantage, on voit donc que l'exploitation actuelle de l'industrie des mines peut apporter un

concours des plus précieux à la science sismographique, pour ainsi dire sans qu'il en coûte rien. Il suffirait de la bonne volonté des exploitants de mines ; et il n'est pas douteux qu'à un appel autorisé, cette bonne volonté répondrait avec empressement.

La même situation, ou à peu près, se présente pour les forages industriels, destinés généralement à la recherche des houillères, et dont quelques-uns ont atteint 2.000 mètres environ de profondeur. Si un tel forage n'a pas donné le résultat qu'on en espérait, il est généralement abandonné, bouché à la surface, plus ou moins ruiné par les éboulements qui pourront se produire ; et tous les efforts faits, le temps et l'argent dépensés sont absolument perdus.

Or, cette dépense, forcément sacrifiée au point de vue de l'industrie, pourrait être utilisée pour la science de la façon la plus précieuse. Chaque forage abandonné représente un observatoire souterrain dont il eût été possible de tirer parti.

En outre, que les forages industriels conduisent ou non à un heureux résultat pratique, ils peuvent fournir, au cours même de leur exécution, des sujets d'observation fort intéressants. J'ai fait remarquer, d'abord, que les échantillons des divers terrains traversés mériteraient d'être collectionnés, soigneusement étudiés, et apporteraient ainsi, de façon incidente, une intéressante contribution à la géologie. On peut en dire autant des échantillons de gaz. Mais il y a plus ; sans que cela entraînât des retards notables, il n'y aurait aucune difficulté à descendre, de temps en temps, à diverses profondeurs, des appareils de mesure qu'on remonterait, et qui donneraient ainsi des indications nouvelles. Enfin des phénomènes imprévus peuvent se produire, au cours d'un tel travail, et l'étude en serait bien intéressante. J'ai appris, par exemple que dans un travail de cette nature assez récemment exécuté en France, du côté de l'Aveyron, des poussées de gaz s'étaient produites, et avaient présenté un caractère périodique nettement accusé, pendant une durée de près de huit mois. On a pu reconnaître que le gaz dégagé était de l'acide carbonique, et qu'il atteignait une pression allant jusqu'à quinze atmosphères. Cette fontaine intermittente gazeuse n'aurait-elle pas été étudiée plus avantageusement pour la science, si, la création d'un service sismographique existant déjà, un délégué de ce service se fût trouvé sur place au cours du travail entrepris, ou y avait été appelé, sur l'annonce du phénomène assez étrange dont je viens de parler ?

Sur ce point encore, comme en ce qui concerne l'exploitation des mines, il est donc bien certain que la science pourrait tirer

profit de ce que fait l'industrie, sans sacrifice pécuniaire appréciable.

Je ne voudrais pas abuser de l'hospitalité du *Bulletin* pour développer outre mesure un sujet dont il me semble avoir établi l'intérêt et l'importance. Mais j'insiste sur la nécessité, pour mener à bien un tel projet, d'une collaboration étroite entre géologues, physiciens, chimistes, météorologistes ; et c'est ce qui m'a déterminé à le présenter à la *Société Philomathique*, mieux placée qu'aucune autre pour s'en occuper, puisque toutes les sciences s'y trouvent brillamment représentées.

Il ne me reste plus qu'une considération à faire valoir : celle de l'utilité d'une entente internationale. Institués dans un seul pays, les observatoires souterrains fourniraient déjà des indications précieuses ; mais ces indications ne donneront tous les résultats utiles qu'au moment où elles auront été généralisées, étendues aux diverses régions du globe. Il en sera en cette matière comme il en a été pour la météorologie. La France, par la situation tristement privilégiée qui lui est faite en raison des épreuves subies, aussi bien que par la variété de son sol, dans la métropole ou les colonies, est appelée, mieux qu'aucune autre nation, à prendre l'initiative. Et ensuite, il est probable que l'association internationale des Académies, s'emparant de la question, aiderait puissamment à l'accord international dont nous venons de parler.

Il est à prévoir que des résultats pratiques ne seraient pas obtenus à bref délai. Mais l'histoire des sciences tout entière montre que les applications viennent à leur heure, et qu'on ne doit pas s'en préoccuper exclusivement dans la recherche de la vérité. La découverte de lois naturelles nouvelles, dans un domaine inexploré, resté jusqu'ici plein de mystère, est un but assez noble pour tenter l'ambition scientifique d'un pays comme la France, et pour lui assurer le concours des autres nations.

Sorti des presses en avril 1903.

ESSAI SUR LA SYMÉLIE.

SON ÉVOLUTION EMBRYONNAIRE ET SES AFFINITÉS NATURELLES.

par Etienne RABAUD

Parmi les monstruosités qui ont le plus intrigué les anciens auteurs, la Symélie se place au premier rang. Tandis qu'à l'aide d'hypothèses plus ou moins ingénieuses, ils parvenaient à rendre compte, d'une manière assez satisfaisante pour l'esprit, de la genèse d'un bon nombre de types tératologiques, ils échouaient complètement devant les dispositions paradoxales du membre inférieur double qui caractérise les Syméliens. Certes, il n'était point malaisé de dire que ce membre double résultait de la soudure de deux membres primitivement indépendants ; mais lorsqu'il fallait expliquer comment ces deux membres se soudaient, non par leurs faces internes, mais par leurs faces externes et de telle sorte que la face dorsale des pieds étant tournée en arrière la plante soit en avant, les tératologistes, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire lui-même, se déclaraient impuissants. Camille Dareste, le premier, a indiqué la solution du problème : l'étude de quelques embryons syméliens lui permit de montrer que la fusion des deux extrémités inférieures était précédée d'une torsion telle « qu'au lieu de descendre des deux côtés du corps, les bourgeons des membres se renversent en arrière, et viennent se placer au-dessus de l'embryon. Ils se rapprochent alors l'un de l'autre par leurs bords extérieurs devenus internes. » (1).

Les observations qui servent de texte à ce travail confirment dans son ensemble la découverte de mon vénéré maître, elles la complètent aussi sur quelques points.

Nous ne prétendons point établir dans ses détails l'histoire embryonnaire de la Symélie ; nous apportons simplement un certain nombre de faits qui, s'ils sont des indicattons positives, ne sont en somme que des indications. La présente étude, en effet, repose sur l'examen de quatre embryons seulement et cette insuffi-

(1) Camille Dareste. — Recherches sur la production artificielle des Monstruosités, 2e édition, Paris, Reinwald, 1891, pp. 420-421.

sante série ne peut, en aucune façon, conduire à résoudre toutes les questions soulevées par les descriptions anatomiques. Mais, vu l'extrême rareté des embryons syméliens, il nous a semblé qu'il valait mieux utiliser d'ores et déjà les individus que nous possédions, plutôt que d'attendre le jour, lointain peut-être, où des circonstances heureuses nous permettraient d'établir des recherches sur une série beaucoup plus complète.

Ce travail ne peut donc être considéré que comme un essai de coordination de faits actuellement mal reliés entre eux. Tenant compte à la fois des données anatomiques, que nous résumerons brièvement, des connaissances embryologiques dues à Dareste et de nos observations propres, tirant des faits observés les inductions qu'ils semblent autoriser, nous nous efforcerons de combler provisoirement les lacunes de façon à retracer la genèse des Syméliens, à connaître la cause prochaine de leur formation et à rechercher leurs affinités naturelles. Nous nous demanderons, en particulier, s'il est vraiment rationnel d'admettre l'intervention d'une cause mécanique ; nous nous demanderons aussi s'il ne faudrait pas rapprocher le renversement des membres du renversement des côtes, c'est-à-dire admettre pour la *Chélonisomie* le même processus général que pour la Symélie.

Bien que fondées sur un certain nombre de données, ces vues diverses seront partiellement hypothétiques ; nous tenons à l'indiquer nettement, dès l'abord.

I. — CONSTITUTION ANATOMIQUE

La Symélie a été le plus souvent observée dans l'espèce humaine ; elle n'est cependant pas tout à fait inconnue chez les autres mammifères : qu'il nous suffise de rappeler le bovidé symélien publié par Gurlt, cité par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire et reproduit par la plupart des auteurs qui ont abordé la question. En dehors des mammifères, Dareste, nous l'avons vu, l'a rencontrée dans l'espèce poule ; aux cas observés par notre maître, doivent être ajoutés les quatre cas qui font l'objet du présent mémoire.

Aspect extérieur. — Considérée chez le fœtus, c'est-à-dire à l'état de monstruosité constituée, la Symélie se présente sous un aspect extérieur tout à fait caractéristique.

La partie sus ombilicale du corps est généralement normale.

Au-dessous de l'ombilic, au contraire, en descendant vers le bassin, on rencontre diverses modifications : l'abdomen va en se rétrécissant ; il est continué, sans ligne de démarcation précise, par la partie supérieure du membre abdominal unique en apparence. L'abdomen est concave, sa concavité répondant à la région de la symphyse pubienne ; les plis de l'aine sont complètement effacés, la saillie des hanches n'est pas marquée, la saillie des fesses est peu apparente. On ne remarque d'ordinaire aucune trace des organes génitaux externes.

Le membre abdominal affecte la forme d'un cylindre conique dont la face antérieure serait sensiblement aplatie.

Dans les cas types, constituant le genre *Symèle* d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, l'inspection permet de reconnaître les divers éléments de deux membres accolés suivant toute leur longueur par leur face interne, les rotules étant en dehors et légèrement en arrière. A l'extrémité du membre existent deux pieds, unis eux aussi par leur bord interne et formant avec la jambe un angle très obtus, de telle sorte que les plantes regardent en avant, les faces dorsales en arrière. Tout à fait exceptionnellement, la soudure étant incomplète, les jambes sont libres à partir du genou (1), ou bien l'indépendance est limitée aux pieds, simplement unis par le talon (2).

Parfois, le membre paraît correspondre à un seul membre normal : il est terminé par un pied simple, complet ou incomplet, dont la plante est toujours tournée en avant. Ces cas constituent le genre *Uromèle*.

Enfin, lorsque le membre est réduit à un moignon terminé en pointe, sans trace de pied, on est en présence du genre *Sirénomèle*.

Squelette. — L'aspect extérieur n'est que la traduction de la constitution squelettique du membre inférieur. La forme concave de l'abdomen, l'absence du pli de l'aine et de la saillie des hanches correspondent à un bassin anormal.

Dans le plus grand nombre de cas, s'il faut en croire Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (3), le bassin serait « très étroit et allongé, les

(1) Un cas rapporté par Maïer : *Fœtu monopodio*, Tubingen, 1827. — Cité d'après Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (Traité de Tératologie).

(2) Un cas signalé par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, un second décrit par Gustave Juillard : Mémoire sur un monstre appartenant à la famille de Syméliens et sur les causes de la Symélie (*Gazette médicale de Paris*, 1869).

(3) Isidore Geoffroy Saint-Hilaire. — Traité de Tératologie, t. II, 1836, p. 237 et sq.

pubis étant incomplets et dirigés de haut en bas, et quelquefois se touchant en arrière, près de leur articulation avec les iléons, en même temps qu'à leur symphyse; ce qui donne à l'ouverture supérieure du bassin la forme d'un huit de chiffre. Ces modifications du bassin tendent toutes à ramener vers la ligne médiane les deux cavités cotyloïdes, et par suite les deux fémurs ». De cette description assez peu nette, il semble ressortir que le bassin est fermé, les deux pubis étant unis, et que le rapprochement des cavité cotyloïdes s'établit par un rétrécissement simple.

Une telle disposition n'est pas contradictoire avec les faits embryologiques, comme nous le verrons; mais elle ne semble pas se rapporter aux cas les plus complets, c'est-à-dire à ceux qui intéressent les membres postérieurs dans leur ensemble, la ceinture pelvienne y compris. Néanmoins, la réduction du bassin rend compte de la disparition du pli de l'aine, de l'aplatissement des hanches et de la concavité de l'abdomen.

Cet aspect extérieur s'explique bien mieux encore avec une forme du bassin très différente, telle que celle que décrit Juillard : le bassin est largement ouvert, il n'y a plus de symphyse pubienne, « les deux os des îles sont renversés en arrière, de telle sorte que leur face interne regarde en avant et leur face externe en arrière. Il en est de même du pubis qui se présente sous la forme d'une masse osseuse pyramidale, dont la base est tournée en avant et dont le sommet, en forme de lame, pénètre entre les extrémités supérieures des deux fémurs avec lesquels il s'articule. Il résulte de cette disposition que la cavité du bassin n'existe pas, car les os qui le circonscrivent habituellement ne constituent plus une cavité, mais une surface plane regardant en avant, et contre laquelle les parois de l'abdomen sont appliquées (1). »

La description de Juillard, dont la clarté exclut toute équivoque, correspond à celles que donne Cruveilhier (2) avec figures à l'appui : « les os iliaques sont comme étalés et horizontaux ». Cet étalement n'empêche pas, toutefois, les pubis de s'articuler en symphise, mais l'orifice qu'ils délimitent est extrêmement étroit ; il y a comme une élongation des pubis. Suivant toutes probabilités, la description de Is. G. Saint-Hilaire, d'ailleurs assez obscure, ne serait qu'un cas particulier. Les deux dispositions cadrent néanmoins l'une et l'autre avec les données embryologi-

(1) Gustave Juillard, Op. cit.

(2) Cruveilhier. Anatomie pathologique, 40e livraison, 1835-1842.

ques ; celle que décrivent Cruveilhier et Juillard d'une façon particulièrement adéquate.

Quoi qu'il en soit, le bassin s'articule avec les deux fémurs. Ceux-ci sont très rapprochés l'un de l'autre, se regardant par leurs faces postérieures devenues internes. Ils sont quelquefois contigus, voire même soudés sur une certaine longueur. Dans cette dernière éventualité, suivant Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, la réunion se fait par la portion inférieure ; dans le cas de Julliard, au contraire, la fusion s'est opérée par les grands trochanters, tandis qu'entre les extrémités inférieures existe une *véritable articulation*. De même, Cruveilhier signale la fusion des 2/3 supérieurs en un bloc volumineux correspondant à une cavité cotyloïde unique, mais de grandes dimensions. D'une façon générale, chaque fémur correspond à une rotule située en dehors.

Chez les Uromèles et les Sirénomèles, il n'existe qu'un seul bloc fémoral avec deux têtes distinctes, ou une seule s'articulant soit avec deux cavités cotyloïdes très voisines, soit même confondues en une seule. La question est de savoir si le bloc fémoral représente réellement deux fémurs en une seule masse, ou si l'un des deux os a disparu. Les deux éventualités sont évidemment possibles, comme nous le verrons. Cependant, il faut noter que chez les Uromèles et les Sirénomèles on ne trouve qu'une seule rotule placée en dehors et parfois en arrière. Is. Geoffroy indique que cette rotule unique présente parfois des traces de duplicité : il doit en être effectivement ainsi si la rotule est tout à fait postérieure, mais non si elle est externe.

L'extrémité inférieure des fémurs s'articule normalement avec les tibias qui ont subi, eux aussi, une rotation : la crête tibiale regarde en dehors. Ils ne sont jamais soudés entre eux chez les Symèles, tandis que chez les Uromèles, il n'y a souvent qu'un seul bloc osseux (1). L'imperfection est simplement accentuée chez les Sirénomèles.

(1) Is. Geoffroy Saint-Hilaire (Op. cit. p. 247) ne dit pas si les deux os de la jambe des Uromèles sont deux tibias ou un tibia et un péroné. Il n'a d'ailleurs pas vu lui-même d'uromèle et sa description est faite d'après Regnault (1775) et Rossi (1800). — Parmi les mémoires que m'ont procurés les recherches bibliographiques, je crois devoir en signaler plus spécialement un qui me paraît fondé sur une erreur complète de diagnostic. Le monstre dont il s'agit (*Description et dissection d'un monstre uromèle*, par le Dr Petit, *Écho médical du Nord*, 1870) est un individu simplement caractérisé par l'atrophie ou l'arrêt de croissance de tout le membre inférieur gauche, la ceinture y comprise. *Ce monstre n'a qu'une jambe* qui est déviée en dehors, tant parce que le bassin droit est légèrement

Les deux péronés sont souvent distincts l'un de l'autre; ils sont internes, situés côte à côte. Le plus fréquemment, ils forment une pièce unique, médiane et symétrique, à peu près égale en volume à l'un des deux tibias. Ce péroné double s'articule en haut et de chaque côté avec les tibias, en bas avec l'astragale.

Ce dernier os est constamment double, même dans le cas où les deux pieds sont incomplètement unis (Juillard) ; il s'articule en dehors avec les tibias ; par son bord inférieur il correspond à un calcanéum également double. L'astragale et le calcanéum de chaque côté forment toujours un seul bloc, et lorsque les deux pieds sont partiellement indépendants ces deux os tarsiens constituent la masse commune.

Quant aux métatarsiens et aux orteils, ceux du pied droit sont parfois tous indépendants de ceux du pied gauche; parfois, au contraire, le métatarsien et les phalanges des deux petits orteils sont fusionnés sur la ligne médiane. Dans ce dernier cas, l'individu paraît avoir seulement neuf orteils au lieu de dix.

Il va de soi que chez les Uromèles, et à *fortiori* chez les Sirénomèles, le péroné peut manquer complètement, le massif tarsien et le squelette des pieds est très réduit, ou même absent.

Muscles, vaisseaux, nerfs. — La disposition des muscles mérite une mention particulière. Isidore Geoffroy Saint-Hilaire est assez bref à leur sujet, se contentant d'exprimer qu'ils sont comme les os, « les uns réunis à leurs congénères sur la ligne médiane, les autres séparés mais tous modifiés dans leur position, ceux de la cuisse ayant fait une demi-révolution, ceux de la jambe et du pied une révolution complète autour de l'axe commun ». La description de Juillard, plus explicite, nous permet de prendre une idée des dispositions de la musculature des Syméliens. « Les muscles des régions antérieure, postérieure et externe de la cuisse et de la jambe, écrit Juillard, se trouvent tous situés à la face postérieure du membre abdominal, où, par leur réunion et leur

rejeté en arrière, que parce que la laxité des ligaments coxo-fémoraux permet une rotation très marquée : il y a simulation de torsion, mais non torsion véritable ; la disposition des muscles le prouverait s'il était nécessaire. De plus, cette jambe unique est affectée d'ectrodactylie, ce qui complète l'apparence uromèle. Ajoutons enfin qu'il existe quelques rudiments d'organes génitaux externes. Tout cela ne répond nullement au type général de la Symélie, le monstre en question n'est qu'un Ectromélien. La Symélie étant si peu fréquente, il importe de ne pas laisser fausser son histoire par des faits qui lui sont étrangers et qui risqueraient de passer pour des manifestations exceptionnelles. C'est pourquoi il n'était pas inutile de signaler cette erreur avec quelque insistance.

enchevêtrement les uns dans les autres, ils forment une saillie volumineuse et apparente sous la peau, tandis qu'à la partie antérieure il ne reste que les muscles de la région interne, dont il manque encore les plus volumineux (les deux adducteurs profonds) ».

Cette description, qui concorde avec celle de Cruveilhier, ne correspond pas exactement, on le voit, aux indications générales de Is. Geoffroy Saint-Hilaire. Les muscles de la cuisse n'ont pas tous accompli une demi-révolution, puisque les muscles postérieurs *n'ont pas changé de place* alors qu'ils auraient dû devenir internes; les muscles de la jambe de leur côté sont loin d'avoir accompli une révolution complète. Néanmoins, il n'est pas possible d'infirmer une description par une autre, puisque chacune d'elles porte sur des sujets différents. Observons simplement qu'Is. Geoffroy Saint-Hilaire ne signale nullement l'existence de masses charnues entre les deux fémurs et tenons grand compte des observations précises de Juillard, qui indiquent nettement que le déplacement des muscles ne paraît pas nécessairement lié à celui des os. Nous trouverons l'application de cette remarque, lorsque nous aurons passé en revue les faits embryologiques.

A ces données touchant la musculature doivent être jointes celles qui ont trait aux vaisseaux et aux nerfs. Sur ce point les relations anatomiques sont fort incomplètes. Is. Geoffroy Saint-Hilaire relève simplement la proximité des grands nerfs sciatiques dans leur portion crurale, puis leur réunion suivie de l'épanouissement des branches postérieures et antérieures. L'une de ces dernières est accompagnée d'une veine et d'une artère; celle-ci correspond aux deux fémorales normales.

Organes viscéraux. — Nous n'insisterons pas longuement sur les organes viscéraux, au sujet desquels nos recherches n'apportent aucun document nouveau. Les variations de ces organes qui paraissent le plus fréquemment associées à la Symélie intéressent tout particulièrement les organes contenus dans le bassin.

La vessie peut manquer; elle est, dans tous les cas, notablement plus petite qu'à l'état normal et parfois rejetée sur l'un des côtés de la colonne vertébrale. Elle est constamment dépourvue d'orifices pour les uretères et pour l'urèthre. Dans le cas de Juillard la vessie se trouvait divisée en deux loges par une cloison complète (1).

(1) Faisons remarquer en passant que l'ouverture très considérable du bassin qui existe chez les Syméliens, tout au moins chez certains d'entre eux, ne coïncide

A ces dispositions correspond le plus souvent l'absence des reins, de l'un deux tout au moins, absence qui n'entraîne pas celle des capsules surrénales. Il arrive, au contraire, que celles-ci sont particulièrement volumineuses. Par une exception qui semble être rare, le Symélien décrit par Juillard possédait deux reins normaux, à chacun desquels faisait suite un uretère extrêmement ténu dont l'extrémité inférieure se perdait dans le tissu conjonctif péri-utérin. Il est des cas où les uretères débouchent dans le tube digestif.

Chez les individus mâles, les testicules sont constamment ectopiques à un degré variable ; chez les femelles les ovaires sont normaux. L'utérus est imparfait quand il existe. Le Symélien de Juillard possédait un utérus absolument clos, n'ayant pas même les orifices des trompes, bien que celles-ci fussent fixées dans leurs rapports ordinaires; il était dépourvu de col et se trouvait nettement séparé du vagin. Ce dernier organe (dont l'existence n'est pas signalée par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, — dont l'absence est nettement notée par Cruveilhier), avait une longueur de 3 centim. sur une largeur de 1 centim.; il s'ouvrait à l'extérieur par un orifice en forme de fente transversale située vers la partie médiane des fesses. Cet orifice est tout ce que l'on retrouve des organes génitaux externes; il ne peut être assimilé ni à des grandes lèvres, ni à des petites lèvres. Cruveilhier de son côté a observé dans deux cas l'existence d'organes génitaux externes rudimentaires, sous la forme d'un petit tubercule auquel aboutissaient les deux ligaments ronds. Il assimile ce tubercule à un clitoris.

Le tube digestif est régulier dans toute la longueur de l'intestin grêle. Le gros intestin est très court et se termine en cul-de-sac ; il n'y a point de vulve ni d'anus. A ce point de vue, la relation de Juillard constitue une très sérieuse exception ; elle nous montre un tube digestif normal dans toute sa longueur s'ouvrant à l'extérieur par un orifice anal situé immédiatement au-dessus de l'orifice vulvaire, à gauche de la colonne vertébrale (1).

pas avec une exstrophie vésicale. Cette constatation est un argument de plus tendant à montrer que l'exstrophie vésicale n'est pas sous la dépendance de l'écartement des deux moitiés du bassin.

(1) L'une des relations de Cruveilhier indique l'existence d'un orifice anal imperforé ; le gros intestin, « se terminait en cul-de-sac dans l'excavation pelvienne ».

II. — ÉVOLUTION EMBRYONNAIRE

1. — Les premières phases de la symélie

La genèse de la Symélie remonte aux toutes premières phases de la formation des membres postérieurs, alors que ceux-ci ne sont encore que des bourgeons à peine saillants. Les phénomènes initiaux apparaissent donc, chez l'embryon de poulet, durant la phase qui correspond à la fin du troisième jour de l'incubation normale.

A cette période si précoce de l'évolution embryonnaire il est fort difficile, pour un observateur non prévenu, de reconnaître la monstruosité. L'unique particularité des individus de cet âge est une extrémité caudale remarquable par sa largeur tout à fait insolite ; rien n'indique d'une façon positive, qu'il faille les rattacher à tel ou tel type tératologique connu.

Frappé par l'aspect singulier de l'extrémité postérieure de deux jeunes embryons, je les avais débités en série et soigneusement étudiés sans m'être fait une idée nette sur la signification des dispo-

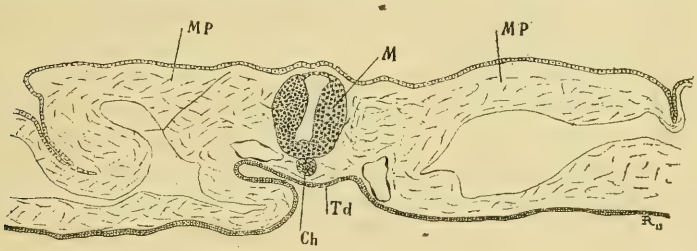


Fig. 1. — Coupe d'un embryon symélien du troisième jour, passant au niveau de l'origine des membres postérieurs. — *MP*, membres postérieurs; *M*, moelle; *Ch*, corde dorsale ; *TO*, tube digestif.

sitions qu'ils présentaient ; ce n'est que plus tard, après avoir eu l'occasion d'examiner deux Syméliens bien définis, que j'ai cru devoir reconnaître chez les premiers la phase initiale des processus présentés par les seconds. L'assimilation des uns aux autres me paraît tout à fait légitime ; les descriptions suivantes permettront de constater chez les uns et chez les autres des dispositions concordantes.

Les coupes transversales des embryons syméliens du premier stade (Fig. 1) présentent nettement l'ébauche des bourgeons des

membres postérieurs. Considérées en soi, ces ébauches n'affectent rien d'anormal dans leur forme ni dans leur situation relative par rapport à la masse mésodermique : elles ne sont ni plus ni moins rapprochées de l'axe embryonnaire, — elles se constituent aux dépens des tissus qui leur donnent normalement naissance. Ce qui les distingue, ce qui attire immédiatement sur elles l'attention, c'est leur situation par rapport au plan horizontal. Habituellement, en effet, lorsque les ébauches des membres marquent leur proéminence aussi légèrement soit-il, le sommet de cette proéminence est situé notablement au-dessous du plan horizontal qui passe par le sommet du canal médullaire ; ces ébauches ne regardent pas directement en haut, mais un peu obliquement en dehors ; elles s'abaissent graduellement, tournent de plus en plus leur sommet en dehors et finissent par devenir franchement latérales.

Ici, le sommet des bourgeons des membres postérieurs proémine nettement, l'un d'eux surtout, au dessus du plan horizontal passant par le sommet du tube nerveux. Bien mieux, non seulement ces ébauches ne sont pas tournées en dehors, mais elles regardent très sensiblement en dedans, leur normale rencontrerait le plan médian du corps au dessus de la face dorsale. Cette disposition est particulièrement sensible sur l'un des côtés de la figure 1 ; elle l'est tout autant chez l'un et l'autre des deux embryons qui servent de texte à cette description.

De part et d'autre des deux bourgeons existe un sillon qui marque l'enveloppement ectodermique prochain. On remarque que l'amnios fait complètement défaut dans la figure 1 ; cette membrane existe au contraire chez le second embryon, elle y est lâche et flottante et paraît tout à fait étrangère à cet exhaussement singulier des membres sur le plan horizontal.

Les autres parties embryonnaires ne présentent aucun fait notable : le système nerveux est normal dans sa forme comme dans sa constitution ; les formations musculaires se dessinent comme à l'état ordinaire.

2. — Symélie constituée

Les relations de ces formes embryonnaires jeunes avec la Symélie apparaîtront avec évidence par leur comparaison avec les embryons plus âgés dont la description va suivre. Ces derniers ont évolué, l'un jusqu'à la fin du cinquième jour, l'autre jusqu'au milieu du septième jour.

L'aspect extérieur de l'un et de l'autre ne laisse planer aucun doute sur le type tératologique auquel ils appartiennent.

L'extrémité postérieure du premier (cinquième jour) présente deux appendices : l'un, qui se trouve dans le prolongement de l'axe longitudinal du corps, n'est autre chose que la partie terminale coccygienne, il est mince et relativement effilé; l'autre, dorsal, plus court que le précédent et aussi plus épais, constitue la masse commune des membres postérieurs (Fig. 2).

La suite des coupes sériées, pratiquées transversalement d'avant en arrière, rend très exactement compte de cet aspect extérieur

Les coupes qui intéressent la racine même des membres (Fig. 3) rappellent d'assez près les coupes transversales des embryons du premier stade. La saillie initiale des membres regarde directement en haut et un peu en dedans ; elle dépasse légèrement le plan horizontal qui passe par le sommet du système nerveux.

Au fur et à mesure que l'on gagne la partie postérieure, cette disposition s'accuse avec une netteté parfaite. La croissance des bourgeons se fait de dehors en dedans vers le plan médian du corps, en passant au-dessus du système nerveux. En même temps, il se produit une invagination ectodermique qui tend à envelopper le membre tout entier et à l'isoler du corps (Fig. 4).

Petit à petit, la forme des bourgeons se précise et leur tendance à se rencontrer devient tout à fait évidente. Cependant, la coalescence des deux masses symétriques ne se fait pas directement. On remarquera sur la figure 5 un noyau conjonctif enveloppé d'une très mince épiderme (*Ba*) et renfermant quelques vaisseaux ; ce noyau est situé au-dessus de l'un des membres et confine d'assez près à l'amnios. Il se trouve en regard d'un second noyau (*Bb*) situé, celui-ci, au-dessus du membre du côté opposé, et qui se confond par sa base avec le tissu conjonctif faisant suite au tissu du membre.

Ces deux bourgeons (*Ba* et *Bb*) sont, évidemment, deux formations tout à fait nouvelles dans l'ontogénèse ; on ne voit aucune homologie possible à établir entre elles et d'autres ébauches embryonnaires normales. Quoi qu'il en soit, ces bourgeons sont l'intermédiaire et comme l'amorce de la coalescence des deux membres.

La figure 6, en effet, montre tout d'abord que ces deux bourgeons se sont très sensiblement accrus ; ils ont gagné en épaisseur et en largeur, envahissant en majeure partie la face interne de l'amnios. La même figure montre, en outre, six ou sept vaisseaux de dimensions variables qui s'insinuent dans l'intervalle existant encore entre les deux bourgeons. Peu à peu les bourgeons vont parvenir au

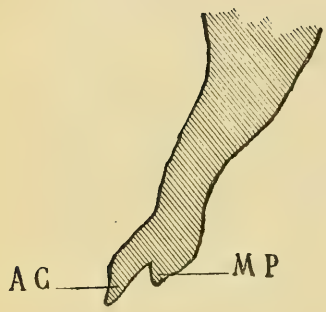


Fig. 2. — Partie postérieure du corps d'un embryon symélien de la fin du cinquième jour. Aspect extérieur. — *MP*, membre *AC*, appendice caudal.

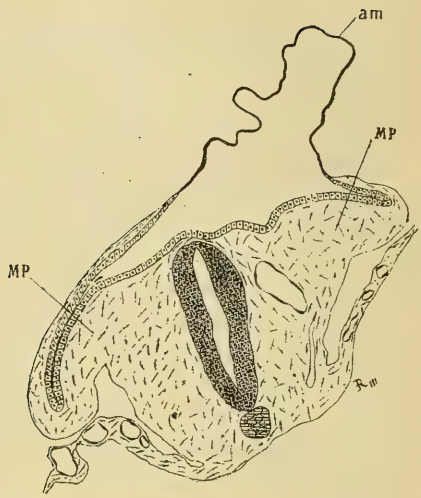


Fig. 3. — Embryon symélien de la fin du cinquième jour. Coupe transversale passant par la racine du membre postérieur. — *MP*, membre postérieur ; *am*, amnios.

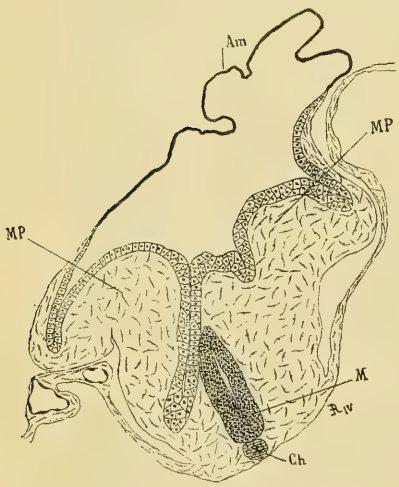


Fig. 4. — Embryon symélien de la fin du cinquième jour. Coupe transversale en arrière de la précédente. — *MP*, membre postérieur; *M*, moelle; *Ch*, corde dorsale; *am*, amnios.

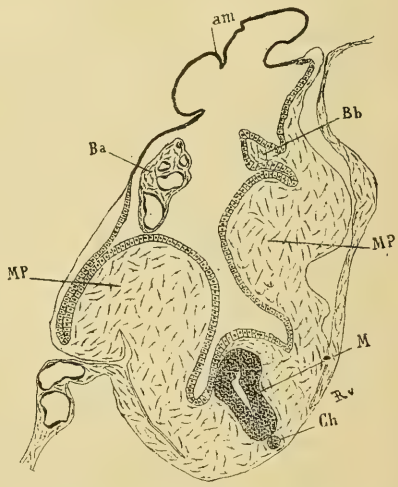


Fig. 5. — Embryon symélien de la fin du cinquième jour. Coupe transversale en arrière de la précédente. — *MP*, membres postérieurs; *Ba-Bb*, bourgeons surnuméraires; *M*, moelle; *Ch*, corde dorsale; *am*, amnios.

contact, puis se souder, englobant progressivement les vaisseaux. Le contact et la soudure s'effectuent de haut en bas ; elles intéressent d'abord et *uniquement les bourgeons surnuméraires Ba* et *Bb*, ainsi que le représente fidèlement la figure 7. A ce moment l'amnios est extrêmement réduit. La progression de la soudure marche toujours dans le même sens ; elle se propage secondaire-

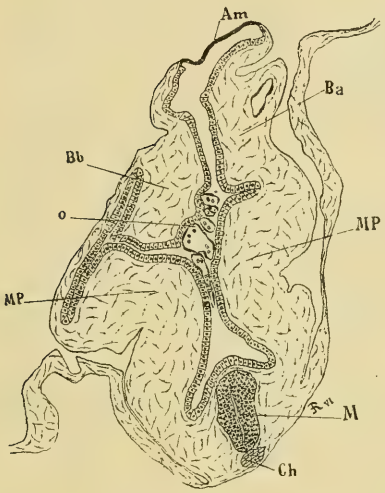


Fig. 6. — Embryon symélien de la fin du cinquième jour. Coupe transversale en arrière de la précédente. — *MP*, membres postérieurs ; *Ba* et *Bb*, bourgeons surnuméraires (les lettres *Ba* et *Bb* ont été interverties par erreur ; *O*, vaisseaux ; *M*, moelle ; *Ch*, corde dorsale ; *Am*, amnios.

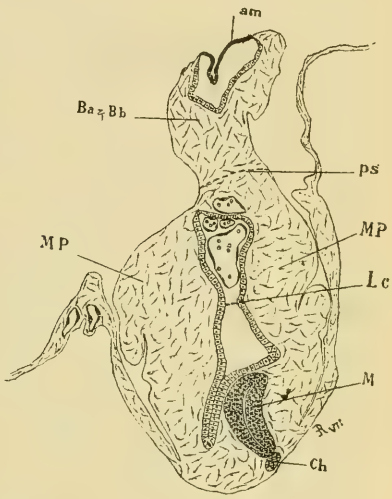


Fig. 7. — Embryon symélien de la fin du cinquième jour. — *MP*, membres postérieurs; *Ba* et *Bb*, Masse commune résultant de la fusion des bourgeons surnuméraires ; *ps*, plan suivant lequel la masse commune *Ba* et *Bb* se sépare du membre postérieur ; *Lc*, ligne indiquant la limite à laquelle s'arrête la soudure des deux membres dans les coupes postérieures non représentées ; *M*, moelle ; *Ch*, corde dorsale ; *Am* amnios.

ment à cette partie des bourgeons des membres qui correspond normalement à leur sommet ; elle gagne de proche en proche et s'arrête, chez l'embryon examiné, au niveau indiqué sur la figure 7, par la ligne pointillée *Lc*.

Si le processus de coalescence des membres s'arrête là chez l'embryon soumis à notre examen, il est fort probable qu'il était destiné à se prolonger plus bas, jusqu'au voisinage du système

nerveux, afin de constituer une ébauche des membres postérieurs complètement massive.

Il importe de remarquer, que cette ébauche massive ne renfermera pas autre chose que la substance des deux bourgeons initiaux. En effet, l'examen des coupes montre, tout à fait en arrière, la production d'un plan de scission, dont la situation est marquée en *ps.* sur la figure 7, plan de scission qui sépare complètement la substance surnuméraire des bourgeons *Ba* et *Bb* de la substance des membres proprement dits. Cette substance *Ba* + *Bb* n'est donc intervenue qu'à titre provisoire, comme pour assurer la coalescence des membres.

La série des figures 3 à 7 met en évidence ce fait que l'amnios, dont la disposition est scrupuleusement reproduite, n'a nullement l'aspect d'un amnios en voie de rétraction ou simplement en état de tension. Il est vrai que cet amnios est extrêmement réduit et qu'il ne marque pour l'instant aucune tendance à envelopper le corps. Cette circonstance paraît être le résultat d'un phénomène contingent et non d'un phénomène adéquat à la Symélie. D'une part, en effet, l'amnios existe nettement chez les embryons plus jeunes, ainsi que l'indication d'un enveloppement ectodermique relativement avancé ; d'autre part, nous allons trouver, chez un embryon beaucoup plus âgé, un amnios complet et un enveloppement ectodermique terminé.

Avant de passer à la description de ce dernier embryon, notons que nous n'avons pu décéler aucun indice de nature à nous mettre sur la voie de la genèse des anomalies concomitantes touchant les organes internes ou externes. Nous observons simplement que la cavité générale est particulièrement déformée ; l'embryon paraît s'être enfoncé de bas en haut. Il est infiniment probable qu'il faut voir là une conséquence du redressement des bourgeons des membres. A la suite de ce redressement, et sans doute aussi à la suite de l'absence de cul-de-sac amniotique, l'embryon ne se trouve plus soutenu avec une force suffisante, il descend en s'enveloppant du mésoderme splanchnopleural. Néanmoins, l'aspect des coupes indique d'une façon suffisante que cette chute n'a eu comme suite aucune action compressive : les contours de l'embryon, les contours de la splanchnopleure elle-même ne sont nullement déformés, ils ne portent aucune trace d'aplatissement.

L'étude du quatrième embryon va nous permettre, dans une certaine mesure, de confirmer quelques-uns des points que nous

venons d'indiquer, en même temps qu'elle nous donnera la notion de la possibilité d'une Symélie incomplète.

L'aspect extérieur de cet embryon, âgé de 7 jours et demi, est assez significatif. Chez lui, comme chez le précédent, l'extrémité caudale fait exactement suite à l'axe longitudinal du corps ; au

Fig. 8. — Embryon symélien du septième jour. Coupe transversale passant par la racine des membres postérieurs *MP*.

Fig. 9. — Embryon symélien du septième jour. Coupe transversale passant en arrière de la précédente. — *MP*, membres postérieurs.

voisinage de cette extrémité caudale, on aperçoit un appendice dorsal occupant la place des membres postérieurs et qui paraît être double.

Les coupes transversales sont très comparables aux précédentes. Sur les plus antérieures (Fig. 8), les membres postérieurs sont en situation quasi-normale. Peu à peu ces membres remontent (Fig. 9)

et passent progressivement au-dessus de la paroi dorsale du corps, (Fig. 10) mais ils n'arrivent pas au contact l'un de l'autre ; la figure 10 indique leur minimum d'écart, et il est à croire que s'ils s'étaient par la suite rapprochés davantage, ils ne se seraient cependant pas soudés. Néanmoins, ils ont subi une rotation marquée autour de leur axe, ils se font face par leurs régions externes ; l'évolution ultérieure aurait sans doute mis en évidence la situation antérieure de la plante des pieds. L'adulte résultant aurait possédé les caractères des membres d'un Symélien, sans la Symélie elle-même.

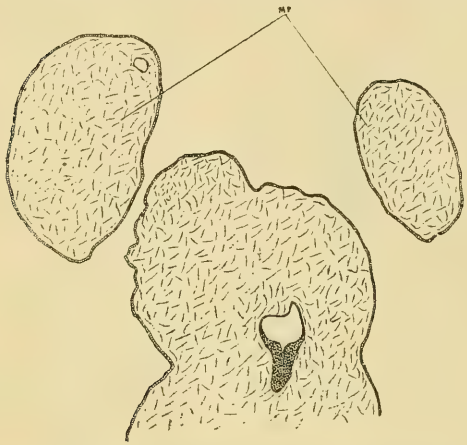


Fig. 10. — Embryon symélien du septième jour. Coupe transversale passant par la partie libre des membres postérieurs *MP*.

Cet embryon présente donc, à ce point de vue, un véritable intérêt. Les recherches bibliographiques que j'ai pu faire ne m'ont point procuré d'indications relatives à une telle monstruosité; tout au moins je n'ai pas su la démêler dans les descriptions, souvent si imparfaites, de monstres constitués. Mais si la Symélie incomplète ne paraît pas avoir été signalée comme monstruosité isolée, on la rencontre cependant d'une façon constante chez les Ischiopages. Ces monstres doubles ont un double bassin largement ouvert, les quatre membres sont redressés et très voisins les uns des autres. Parfois deux de ces membres forment une masse commune, les deux autres étant libres ; parfois, au contraire, les quatre membres sont libres. De toutes façons les membres libres sont redressés et rapprochés, ils sont en Symélie incomplète, ainsi que j'ai pu m'en assurer *de visu* en examinant un squelette d'Ischiopage conservé au laboratoire d'Anthropologie de l'École des Hautes-Études (1). Cette observation anatomique, jointe à la compa-

(1) Cet Ischiopage a éte présenté par Paul Broca à la Société d'Anthropologie de Paris. Une note à son sujet est insérée dans le Bulletin de la Société (Monstre ischiopage ayant vécu cinq mois et demi) (*Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris*, 1875).

raison des diverses figures de ce mémoire, met hors de doute la parenté très étroite qui relie notre quatrième embryon aux précédents ; il faut, suivant toute nécessité, le considérer comme un Symélien incomplet.

A ce titre, il est fort important de noter que son amnios est un amnios entièrement normal, enveloppant l'embryon de toutes parts, ou du moins fort près de l'envelopper, les culs-de-sac inférieurs se trouvant très voisins l'un de l'autre. De plus, cet amnios, loin d'être rétréci, est, au contraire, lâche et flottant ; j'ai dû le déchirer partiellement pour pouvoir examiner l'embryon à la loupe. Constatons enfin, que ni les membres, ni le corps embryonnaire ne portent la trace d'une action mécanique quelconque.

Ces divers points corroborent les constatations que nous avons précédemment faites ; elles les complètent même en partie, puisqu'elles nous permettent d'affirmer que les dispositions amniotiques observées sur l'embryon précédent, ne sont évidemment pas les dispositions constantes de la Symélie.

Pour ce qui est de l'étude des organes internes, ce dernier embryon ne nous a révélé aucune anomalie saillante ; les formations génito-urinaires se présentaient avec leur aspect habituel ; le tube digestif ne semblait nullement différer de son état ordinaire.

3. — Différenciation ultérieure des parties

Nous rechercherons tout à l'heure de quelle nature peut être le processus qui aboutit à la Symélie et quelle peut être son origine. Considérons simplement, pour l'instant, les effets de ce processus, c'est-à-dire *la constitution d'une ébauche de membre unique*, et tâchons de nous rendre compte dans quelle mesure le mode de formation de cette ébauche explique la monstruosité, quelle doit être la différenciation ultérieure des tissus, étant données les dispositions observées chez le nouveau-né.

Pour cette recherche, les documents histogénétiques précis nous font absolument défaut ; chez l'embryon le plus âgé que nous ayons eu à notre disposition, nous avons seulement constaté la phase pré-cartilagineuse du squelette ; les masses musculaires n'étaient point encore apparentes. Nonobstant, les hypothèses que nous pourrons faire à cet égard ne seront pas absolument dénuées de fondement ; la comparaison des phases embryonnaires aux dispositions adultes, l'utilisation des connaissances générales déjà

acquises dans l'ordre de l'embryologie anormale nous permettront d'avancer sur un terrain relativement solide.

Tout d'abord, il convient d'insister sur ce fait que le processus a pour résultat immédiat la constitution d'une ébauche dont les éléments sont à l'état indifférent. Ce fait de la non-différenciation préalable a une grande importance. Camille Dareste, dont les vues allaient si souvent au-delà de l'observation simple et qui prévoyait ce qu'il ne pouvait voir, a mis en relief cette indifférence histologique des ébauches des membres, la considérant comme la condition indispensable de la soudure et de la fusion des deux bourgeons. Les présentes observations rendent inutile toute discussion sur ce point. Il y a plus encore, l'importance de la non-différenciation des tissus dépasse le fait même de la soudure. En effet, les bourgeons fusionnés n'étant pas encore différenciés, les diverses parties qui s'individualiseront plus tard dans la masse commune n'ont pas encore, au moment de la fusion, une situation nettement déterminée. Par suite, l'histogénèse ne s'effectuera pas nécessairement, comme elle se serait faite si les membres étaient restés libres; cette histogénèse pourra s'adapter aux conditions nouvelles déterminées par la constitution d'un bourgeon massif et elle s'y adaptera de la façon la plus complète. Un certain nombre des dispositions squelettiques ou musculaires trouvent leur explication dans cette simple considération : les organes naissent une fois les ébauches soudées, suivant l'expression si juste de C. Dareste ; ils naissent sans suivre nécessairement la série des phases de l'ontogénèse normale.

Cela posé, le processus tel que nous l'avons observé, ne diffère pas, quant à son résultat, du processus décrit par Dareste : les deux ébauches des membres exécutent une rotation de bas en haut autour d'un axe qui peut être représenté par la colonne vertébrale. Le plan de rotation n'est pas un plan exactement perpendiculaire à l'axe longitudinal du corps, ce plan est très sensiblement incliné sur l'axe, suivant un angle d'environ 45°. Il suit de là, que l'accolement des membres ne s'effectue pas exactement par les faces externes, comme l'a avancé Dareste, mais bien plutôt par les faces postéro-externes. L'examen des Syméliens adultes le prouve surabondamment : en effet, si l'accolement s'effectuait franchement par les faces externes, les rotules devraient être tout à fait postérieures; or ces rotules sont *très constamment externes*. De plus, dans un très grand nombre de cas, la réunion des pieds n'est pas absolument

intime, les petits orteils sont parfois distincts, tandis que l'astragale et la calcanéum forment toujours une masse commune. Ajoutons qu'il peut se produire et qu'il se produit certainement des modifications secondaires dans la différenciation du squelette des pieds : nous reviendrons sur ce point tout à l'heure.

Si le redressement des bourgeons explique le mode de soudure des membres, il explique également la constitution du bassin. Nous avons vu qu'au dire d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, ce bassin était toujours fort petit; mais il semble ressortir du texte du Traité de Tératologie, que le bassin est toujours fermé. Et c'est bien ainsi qu'il devrait en être si le processus portait *uniquement*, comme le croyait Dareste, sur les palettes qui représentent les premiers rudiments des membres. En réalité, le processus porte sur le membre tout entier, aussi bien sur la partie libre que sur la ceinture pelvienne. Sans doute, il existe des variations individuelles ; il peut y avoir des cas où le redressement intéressant seulement la partie libre des membres, le bassin se forme d'une façon plus ou moins normale. Mais le processus semble devoir porter le plus souvent sur le bassin lui-même qui se redresse et, s'étant redressé, s'ossifie sous la forme d'une lame à peu près plane. Nous en trouvons des exemples absolument précis chez les Syméliens décrits par Cruveilhier et par Juillard. Cette disposition cadre parfaitement avec nos constatations embryologiques. Néanmoins la disposition inverse, c'est-à-dire l'existence d'un bassin fermé, peut, à la rigueur, s'expliquer, elle aussi.

Toutefois, il importe d'insister sur ce point que le redressement du bassin n'est pas nécessairement suivi de la soudure des membres. La preuve nous en est fournie par l'observation de l'embryon du septième jour dont la description précède ; elle nous est également fournie par la connaissance de monstres chez lesquels un bassin largement ouvert donne attache à des membres absolument libres. C'est ce qui arrive, en particulier, nous l'avons vu, chez les monstres Ischiopages.

En réalité, la soudure dépend, non pas tant du redressement même des ébauches, que du degré de convergence de ces ébauches redressées et surtout, peut-être, de l'existence de bourgeons surnuméraires. La fusion des membres, en effet, ne marche pas de la racine vers l'extrémité libre, mais au contraire de l'extrémité libre vers la racine. C'est ce que nous observons chez l'un de nos embryons, où nous voyons la fusion devenir de plus en plus com-

plète, tendant à intéresser le membre dans toute sa longueur. Il faut donc, suivant toute nécessité, que le membre soit non seulement redressé, mais encore que sa partie libre soit suffisamment déviée vers la ligne médiane pour qu'il rencontre son congénère dès les premières phases de l'évolution. Or, il est possible que cette déviation des palettes puisse se produire indépendamment d'un redressement trop accusé de la ceinture pelvienne.

La progression de la soudure de l'extrémité libre vers la racine, nous conduit à penser que la Symélie une fois constituée, l'ébauche du membre double est complètement massive d'un bout à l'autre, et que si certaines parties doivent rester distinctes, ce sont les parties basales et non point les parties distales. Ces constatations semblent en désaccord avec l'observation de Maïer, rapportée par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, d'après laquelle à une cuisse double faisaient suite deux jambes indépendantes. Une telle observation tendrait bien plutôt à indiquer que l'accolement des membres marche de la ceinture vers les pieds, que cet accolement, dépendant de l'état de redressement du bassin, peut, dans certaines circonstances, s'effectuer d'une façon incomplète.

La contradiction nous paraît purement apparente. Il est possible, évidemment, que le premier point de soudure s'établisse, non pas à l'extrémité même des palettes, mais à leur partie médiane, et que la soudure se propage ensuite vers la ceinture, laissant libre les jambes à partir des genoux. Ce n'est point là, sans doute, le processus que nous avons observé, mais comme on ne saurait établir une loi générale d'après un cas unique, on doit admettre la possibilité d'une variante. Néanmoins, il ne semble pas indispensable que la soudure soit primitivement incomplète, pour que le Symélien adulte ait les pieds ou même les jambes indépendantes. Il est parfaitement admissible que la séparation des jambes soit un phénomène secondaire, contemporain de la différenciation du squelette et de la musculature ou même antérieure à elle.

Examinons l'une et l'autre de ces deux manières de voir.

En premier lieu, il ne faut point oublier qu'à l'état normal l'extrémité des membres est une palette massive dans laquelle rien ne permet de soupçonner les orteils libres du pied définitif. Le phénomène n'est pas différent chez les Syméliens; les orteils deviennent libres secondairement et ils le deviennent, dans un certain nombre de cas, de façon à déterminer la formation de dix orteils complètement distincts ; c'est dire qu'il s'établit entre les deux petits

orteils une régression des tissus. On peut admettre, sans faire une hypothèse absurde, que ce processus de régression, d'où résultera l'indépendance des deux petits orteils placés côte à côte, se prolonge plus ou moins loin et que, suivant le cas, il s'en suive la production de deux pieds ou même de deux jambes parfaitement libres.

Un tel processus n'est évidemment pas l'effet du hasard ; peut-être répond-il à certaines dispositions relatives des bourgeons primitivement accolés. On peut croire, en particulier, que la régression du tissu interposé entre les deux pieds ou les deux jambes dépend du degré d'accolement et de la façon dont s'est effectué cet accolement. Si la torsion des ébauches est peu marquée, par exemple, ces ébauches viendront s'affronter franchement par leur face postérieure ; les deux pieds feront entre eux un angle assez largement ouvert, le tissu interposé entre les deux petits orteils tombera très naturellement en régression, et la régression se prolongera aisément très haut. Il peut se faire, également, que l'accolement soit très superficiel entre les deux bourgeons et que l'enveloppement cutané s'insinue sans beaucoup de difficultés entre les deux jambes.

En second lieu, il faut peut-être rapprocher l'évolution de l'ébauche unique des membres du Symélien, de l'évolution de l'ébauche unique de l'œil des Cyclocéphaliens. Sans doute, le mode de formation lui-même de ces deux sortes d'ébauches n'est pas absolument comparable ; le membre unique du Symélien provient de la soudure de deux bourgeons primitivement distincts, tandis que le pédicule optique unique du Cyclocéphalien provient d'une formation primitivement massive. Néanmoins, il est difficile de ne pas être frappé de ce fait que l'ébauche oculaire massive se divise secondairement par le seul fait de la croissance pour donner naissance à deux yeux distincts (1), et l'on doit se demander si l'ébauche d'un membre double unique ne se bifurque pas, dans certains cas, en s'allongeant, de façon à reprendre l'état de deux membres complètement ou partiellement distincts.

Quoi qu'il en soit de ces hypothèses, considérons l'ébauche double constituée, et cherchons à nous rendre compte de l'origine des variations considérables que l'on observe dans l'ossification et la genèse des muscles des membres doubles. Nous voyons l'ossification donner naissance à deux fémurs tout à fait indépendants ou

(1) Etienne Rabaud. — Recherches embryologiques sur les Cyclocéphaliens. — *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie* 1901-1902.

soudés sur une certaine étendue ; nous voyons des péronés distincts ou confondus en une seule masse. Ce sont certainement là des phénomènes primitifs qui s'accomplissent dans le sein du tissu mésodermique commun et découlent de la constitution d'une ébauche unique. Dans cette ébauche unique, en effet, tout ne se passe pas exactement comme s'il s'agissait réellement de deux parties distinctes. Sans doute, les os se différencient en conservant à peu près la situation qu'ils auraient eu dans le membre normal, mais, suivant les conditions déterminantes, les moules osseux se différencient tous séparément ou se confondent partiellement. De leur côté, les muscles se forment d'une façon qui paraît adéquate à la Symélie, sans égard pour leur état normal : ils constituent une masse postérieure et l'on ne voit nullement de corps charnu venir s'interposer entre les os, comme cela devrait avoir lieu si les dispositions habituelles étaient absolument respectées.

Ces variations diverses dans les différenciations musculaires ou osseuses montrent que toutes les possibilités peuvent se réaliser. Cela tient à ce que l'accolement et la fusion de deux bourgeons indifférents n'est pas un processus purement superficiel. De l'union des deux ébauches primitives résulte vraiment une ébauche nouvelle, dans laquelle les phénomènes subséquents ne sont pas nécessairement liés par les actions héréditaires. Ce ne sont pas nécessairement les éléments qui se seraient différenciés dans un sens, en dehors de la Symélie, qui se différencient dans ce sens, une fois la Symélie constituée. Le fait de l'accolement des deux parties entraîne avec lui des conditions nouvelles, et ces conditions nouvelles ont leur répercussion sur l'ensemble de l'ébauche tératologique.

On ne doit donc pas chercher à expliquer toutes les éventualités par le moyen des processus normaux, mais, au contraire, tenir le plus grand compte des possibilités qui peuvent se faire jour. On ne doit pas voir dans la disposition des muscles ou des os le résultat d'une action, d'un déplacement secondaires, mais bien celui d'une différenciation primitive *in situ*. Il ne faut surtout pas s'ingénier, comme l'a fait Juillard, à expliquer la torsion des fémurs par la traction de la masse musculaire postérieure. En effet, les os sont nettement différenciés bien avant que les fibres soient en état de se contracter avec une force suffisante pour imprimer un mouvement quelconque aux fémurs. De plus, ce mouvement de torsion n'aurait pu se produire sans déterminer des désordres assez graves, tout au moins des plissements et des froissements

marqués dans l'intimité et sur la peau même du membre unique.

Nous venons d'envisager les processus ultérieurs de constitution du membre postérieur, en supposant que ce membre double était toujours complet et renfermait, sous une forme ou sous une autre, toutes les parties des deux membres. Or, nous savons qu'il n'en est pas nécessairement ainsi : les Uromèles et les Sirénomèles présentent des dispositions spéciales, qu'il convient d'étudier attentivement.

La question qui se pose à leur endroit est celle-ci : Ces types de Syméliens procèdent-ils de processus particuliers touchant de près au processus général dans son essence, avec quelques modifications accessoires ; ou bien, au contraire, procèdent-ils exactement du même processus initial, modifié secondairement ?

Il ne semble pas faire doute qu'il ne faille se ranger à cette deuxième manière de voir. Le processus initial est très certainement le même dans tous les cas, qu'il s'agisse de Symèle, d'Uromèle ou de Sirénomèle. Les uns comme les autres sont essentiellement caractérisés par la soudure des deux membres postérieurs, soudure comparable d'un genre à l'autre, ainsi que cela ressort de l'examen des dispositions anatomiques. Or, si l'on considère la série des phases qui aboutit à l'accolement et à la fusion des palettes embryonnaires, on se rendra nécessairement compte que la disposition, le nombre, la forme des diverses parties du membre double adulte ne dépendent pas de ces phases elles-mêmes : désorientation et redressement des bourgeons, leur mise en contact et leur fusion. Que cette dernière s'effectue par les faces postérieures ou par les bords postéro-externes, le résultat essentiel est toujours exactement le même : constitution d'une ébauche unique. Ce sont les différenciations ultérieures des diverses parties squelettiques, musculaires et autres, dont cette ébauche sera le siège, qui détermineront soit un membre double complet, soit un membre incomplet suivant le cas. Rien n'autorise à rattacher ces variations secondaires à une variation dans le redressement initial ou la soudure.

Si donc le résultat définitif est caractérisé par l'absence d'un nombre variable de parties, que cette absence porte uniquement sur un membre ou sur les deux à la fois, nous devons admettre, en toute logique, que ce résultat ne dépend nullement du processus *primitif* d'où dérive le Symélie, mais de l'intervention subséquente de processus *consécutifs*. Ces processus consécutifs seront des arrêts de croissance ou des arrêts de développement pouvant

entraîner la disparition ou empêcher la différenciation de tout un membre (le Symélien sera véritablement *monopode*) ; pouvant même réduire le membre restant, ainsi que cela se rencontre chez certains Uromèles dont les pieds ne possèdent qu'un ou deux orteils ; pouvant encore porter sur l'ensemble des deux jambes, de telle sorte que le monstre devienne un Sirénomèle.

Nous avons observé dans la genèse des Cyclocéphaliens des phénomènes assez comparables : Les *Diplophtalmes réduits* proviennent, en effet, de l'arrêt de croissance de l'un des deux yeux, et nous avons relevé des cas où les deux yeux à la fois cessaient de se développer à une phase assez précoce.

L'intervention de ces processus consécutifs ne saurait être mise en doute ; leur rôle est de modifier secondairement la monstruosité, de lui imprimer une allure un peu particulière. Quant au processus initial, celui sans lequel la monstruosité ne serait pas, est toujours le même dans tous les cas.

III. — NATURE ET ORIGINE DU PROCESSUS SYMÉLIEN

Nous devons maintenant nous demander quelle est la nature de ce processus primitif qui détermine la Symélie et quelle est l'origine de ce processus.

Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, partant des conceptions de Serres sur la constitution primitive des ébauches normales et les adaptant à la théorie de l'affinité du soi pour soi de son père, voyait dans la Symélie un bel exemple d'*excès de développement*. Il prétendait que tous les organes de l'économie dérivent d'ébauches paires et symétriques entraînées par une irrésistible affinité l'une pour l'autre à s'accoler et à se confondre. S'il existe encore des organes adultes pairs non fusionnés en un seul, c'est qu'un obstacle quelconque s'est interposé entre les bourgeons embryonnaires pour les maintenir à distance. L'évolution progressive des êtres consisterait dans la disparition de l'obstacle et dans l'unicité secondaire de tous les organes.

On ne peut plus s'arrêter maintenant à ces vues singulières qui reposaient sur des observations inexactes et des équivoques sans nombre (1). D'ailleurs, si, par le moyen de l'affinité du soi pour

(1) Pour plus amples détails, voir mon mémoire : Fragments de Tératologie générale : L'union des parties similaires. *Bulletin scientifique de la France et de la Belgique*, 1903.

soi, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire croyait expliquer l'existence d'un membre double, il ne pouvait rendre nul compte, et l'avouait hautement, de la raison pour laquelle ce membre double avait le talon en avant et les orteils en arrière.

C'est à Camille Dareste, nous l'avons précédemment indiqué, que revient l'honneur d'avoir montré le processus de redressement des palettes embryonnaires et, par là, d'avoir levé l'énigme relative à cette monstruosité. Mais si Dareste a clairement compris le processus dans son ensemble, il n'a pas vu et il ne pouvait voir toute l'étendue du processus. Attribuant le redressement des palettes à une compression amniotique, il plaçait par là même à une phase beaucoup trop tardive les premiers débuts de la Symélie, les ébauches des membres ne pouvant être déviées qu'une fois nées et déjà relativement proéminentes, c'est-à-dire vers la fin du quatrième jour de l'incubation normale chez le poulet (1).

Or, il résulte des descriptions précédentes que l'amnios n'intervient pas dans la genèse de la Symélie. Nous avons vu cette membrane lâche et flottante chez deux embryons, non encore formée chez un troisième, ou n'enveloppant que très incomplètement le quatrième individu. On ne saurait donc parler de compression. D'ailleurs, le seul examen des Syméliens adultes conduirait à mettre en doute la réalité d'une telle action.

Nous remarquons, en premier lieu, que si le redressement et le renversement intéressent toujours la partie libre des membres, parfois aussi, le plus souvent peut-être, ils intéressent également le bassin lui-même. Cela étant, supposons que les palettes soient entravées dans leur expansion par un amnios trop étroit : ces palettes seront pliées d'une façon plus ou moins brutale, elles seront pliées à une distance variable de leur base : dans tous les cas, la plicature portera nécessairement en un point quelconque de la partie libre de la cuisse et non pas au point de jonction du fémur et du bassin. A ce moment de l'évolution embryonnaire, en effet, le squelette n'étant différencié à aucun degré, la palette est une masse peu résistante ; si une force donnée prend son point d'application sur cette palette à une certaine distance de la base, cette force déterminera une déviation en un lieu situé entre la base et le point d'application lui-même, elle n'entraînera pas le moins du monde le redressement de l'ensemble de l'ébauche : le fémur

(1) « Il est évident que la fusion des membres, qui caractérise la symélie, est postérieure à l'apparition de ces membres ». (C. Dareste, *op. cit.*, p. 234).

sera coudé en un point quelconque de sa longueur ; or, il n'est pas de relations anatomiques qui le montrent tel.

En second lieu, diverses observations permettent de penser qu'une action compressive n'est guère capable de donner naissance à une déformation parfaitement symétrique. J'ai, pour ma part, fréquemment observé que les ébauches comprimées s'accommodent comme elles peuvent dans une enveloppe inextensible, elles se disposent d'une façon paradoxale, incohérente, les ébauches paires — les deux yeux par exemple — n'ont aucune tendance à se diriger l'une vers l'autre pour s'unir. Ces ébauches sont déjetées dans un sens ou dans un autre, elles viennent occuper les situations les plus inattendues, au gré de l'accommodation mécanique ; ce ne serait que par une rencontre heureuse, par la mise en acte d'une possibilité entre mille, que ces ébauches parviendraient à se conjoindre (1).

Ainsi donc, la compression amniotique peut fort bien intéresser les deux membres postérieurs simultanément. Si le phénomène se produit, il ne déterminera pas nécessairement la Symélie ; bien au contraire, ce sera un pur hasard si la Symélie est déterminée. Au surplus, même dans ce dernier cas, il ne s'agira point de Symélie vraie, mais d'une déformation secondaire portant la trace de son origine dans la forme pliée des fémurs.

Enfin, il n'est peut-être pas inutile de faire observer que la manière de voir de Dareste partait bien plus d'une vue préconçue, que d'une interprétation serrant les faits de très près. En se rapportant aux figures de son livre, on constate immédiatement que l'amnios des Syméliens représentés n'est nullement étroit ; il n'enserre pas le corps, il ne se moule pas sur lui, toutes choses qui devraient être si l'enveloppe embryonnaire intervenait véritablement en qualité d'agent de compression (2).

Mais si l'amnios n'intervient pas de cette manière, on pourrait croire cependant qu'il détermine la Symélie par une sorte de trac-

(1) Étienne Rabaud : Recherches embryologiques sur les Cyclocéphaliens.

(2) Il est bon de signaler que l'idée d'une compression intervenant dans la genèse de la Symélie est antérieure à Dareste. Cruveilhier dès 1828 (*Archives générales de médecine*, t. VII) admettait une double compression : l'une imprimant aux membres un mouvement de rotation autour de leur axe et ayant pour effet de ramener en avant la face postérieure ; l'autre entraînant les membres l'un contre l'autre et déterminant leur fusion. Cruveilhier ne s'expliquait nullement sur la nature de l'agent mécanique : sa théorie était purement hypothétique. Dareste conserve tout le mérite d'avoir *vu* le renversement des membres et d'avoir compris toute la portée de cette observation. Son erreur sur la cause du renversement est, en somme, secondaire.

tion passive bilatérale. L'hypothèse n'a pas été appliquée à la monstruosité qui nous occupe; elle est née de l'observation d'un type tératologique très curieux, la Chélonisomie, caractérisée par le redressement des côtes et la fusion des hémisternums sur la face dorsale de l'individu. Mais, comme il nous paraît exister des rapports génétiques assez étroits entre la Symélie et la Chélonisomie, il importe d'examiner si l'amnios peut intervenir dans le sens que nous venons d'indiquer. C'est M. Louis Blanc, de Lyon, qui a imaginé cet ingénieux processus (1). Il suppose que l'amnios, cessant de s'accroître de haut en bas pour venir envelopper l'embryon, reste attaché par ses bords aux côtés de l'embryon, tandis que la croissance de l'embryon continue et se poursuit d'une façon normale. Dans ces conditions, les parois thoraciques retenues par la membrane d'enveloppe ne peuvent se retourner de haut en bas pour envelopper les viscères ; bien plus, les côtes ne cessant pas de croître, tandis que l'amnios conserve ses dimensions primitives, les côtes sont redressées : la cage thoracique se ferme alors en sens inverse, laissant à nu tous les viscères depuis le cœur jusqu'aux organes génitaux.

Le processus n'est pas absolument invraisemblable et nous le trouvons réalisé, en apparence, chez l'un de nos Syméliens (fig. 3 à 7) : l'amnios n'enveloppe pas l'embryon et toute la région du bassin est absolument à nu, tout comme chez un Chélonisome. Il reste à savoir si cette disposition de l'amnios provoque le redressement ou si elle est indépendante de ce redressement. Or, l'examen le plus superficiel des figures conduit à se rendre compte que si l'amnios n'a pas enveloppé le corps, il n'exerce point, pour cela, une traction bilatérale; il est, en effet, extrêmement lâche et permettrait parfaitement aux membres de s'écarter. Cette constatation, mise en regard de celles d'amnios complet ou inexistant, prouve qu'il n'est nul besoin d'une traction bilatérale et symétrique pour déterminer un redressement.

Mais, en outre, il est infiniment probable que même si l'amnios ainsi transformé en bride pouvait retenir et redresser les membres, leur fusion ne s'en suivrait pas nécessairement. En effet, quel que soit le moment de son évolution auquel elle stationne, la membrane amniotique possède une certaine étendue, mesurée par la largeur de l'aire embryonnaire. En admettant que cette étendue ne s'agrandisse

(1) Louis Blanc. — Transformation cutanée de l'amnios chez un monstre Célosomien Chilonisome (*Annales de la Société linnéenne de Lyon*, 1892).

point, elle ne diminue pas non plus, car une rétraction secondaire n'est guère admissible. Dans ces conditions, les parties redressées resteraient toujours à une certaine distance l'une de l'autre et rien ne les entraînerait à se fusionner. Ce n'est que très tard qu'elles pourraient parvenir au contact, lorsque leur volume se serait considérablement accru, et il n'est pas démontré, au contraire, qu'à ce moment-là elles puissent se souder. Au surplus, un arrêt de croissance *complet* de l'amnios est assez peu vraisemblable et s'il se produisait, même en supposant la cutinisation de cette membrane telle que l'a observée L. Blanc, il est à croire que la traction opérée sur elle par les parties redressées entraînerait sa rupture ou tout au moins son décollement des lignes d'attache. En somme, même si la disposition amniotique prévue par Blanc se trouvait réalisée, cette disposition ne déterminerait nullement les résultats attendus. Nos figures, reproductions fidèles des préparations, montrent d'ailleurs que l'amnios n'est pas tendu, loin de là.

Tout nous conduit donc à refuser une fois encore toute valeur aux circonstances purement mécaniques comme cause d'un processus tératologique (1). Cette cause est assurément beaucoup plus profonde. Nos observations montrent, non seulement l'indépendance de la Symélie vis-à-vis des actions mécaniques, mais encore l'insuffisance de ces actions pour expliquer les dispositions anatomiques ; elles nous montrent, en outre, que le processus symélien est beaucoup plus précoce que ne le croyait Dareste, qu'il est, en quelque sorte, antérieur à la proéminence extérieure des bourgeons et qu'il se marque déjà chez l'embryon au moment où les palettes commencent à apparaître. Dès l'abord, à la suite d'actions et de réactions adaptatives, dont nous connaîtrons peut-être un jour la nature, les ébauches des membres postérieurs se mettent à végéter dans une direction tout à fait inaccoutumée : la *formation* même de ces palettes est primitivement *désorientée*. C'est là un processus nouveau, indépendant de l'ontogenèse normale. Il ne touche nullement à la nature même des éléments, car les palettes syméliennes, suivant toutes probabilités, dérivent des parties du mésoderme qui étaient héréditairement destinées à former les membres normaux ; mais la formation de ces palettes est intéressée par la façon dont elles se disposent relativement à l'embryon et, consécutivement, par le sens dans lequel elles prolifèrent.

(1) Nous croyons inutile d'insister sur les hypothèses proposées par divers auteurs : Traction musculaire provoquant la torsion des membres ; arrêt de développement préalable de la vessie, du rectum et du sacrum ; lésion primitive de l'axe cérébro-spinal, etc.

En outre, nous sommes en droit de penser que le processus ne se borne pas à une simple désorientation, qu'il est accompagné ou suivi d'une évolution assez spéciale, contribuant à le caractériser de la façon la plus nette. Il semble, en effet, que le fait du redressement est, en lui-même, insuffisant pour entraîner la coalescence et la fusion des membres et que le degré de convergence n'est pas le facteur unique, ni peut-être le facteur essentiel de la fusion. Pour qu'il y ait affrontement et fusion, peut-être est-il nécessaire que le processus soit plus hétérotypique encore. Nous avons insisté sur l'existence de deux bourgeons supplémentaires *Ba* et *Bb* et nous avons montré que la fusion débutait par ces deux bourgeons, qu'elle était déterminée par eux ; nous avons aussi montré que l'intervention de ces bourgeons était tout à fait temporaire, qu'ils se détachent secondairement de la masse du membre double, la fusion une fois opérée. L'intervention de ces bourgeons, si elle est générale, donne au processus symélien aboutissant à la Symélie proprement dite une physionomie caractéristique.

Quoi qu'il en soit, le processus est *primitif*. Il dirige l'ébauche dès son apparition, il détermine son apparition; il la crée en quelque sorte. Par ses traits généraux, il se rattache à la *formation désorientée* (1), qui est, nous le savons, le processus initial de l'Omphalocéphalie et de l'Ourentérie lorsqu'il frappe le système nerveux.

Dans le cas particulier de la Symélie ce processus est remarquable en ce qu'il est symétrique, qu'il frappe simultanément les deux côtés du corps et conduit l'une vers l'autre deux parties similaires. C'est une Formation désorientée *convergente*. Sur la cause même de cette symétrie, nous n'avons aucun renseignement précis. Nous devons simplement observer que la symétrie normale étant elle-même une adaptation à des incidences données, il n'y a pas lieu d'être surpris que des actions inaccoutumées déterminent, elles aussi, des adaptations bilatérales similaires.

L'adaptation symétrique aboutit à l'*union des parties similaires*. Le phénomène est assez rare pour qu'il ne mérite pas d'être signalé, et la tératogénie classique lui fait jouer un trop grand rôle pour que

(1) A l'époque où je rédigeais mon mémoire sur l'*Union des parties similaires* (mai 1901), je n'avais examiné que l'un de mes quatre embryons et encore l'avais-je examiné assez superficiellement. Cet examen un peu rapide m'avait laissé croire à une *Formation déplacée convergente* et c'est dans ce sens que j'avais résumé mon observation. Je rectifie ici cette erreur qui ne change rien, d'ailleurs, aux conclusions que j'avais tirées et que je reprendrai dans les pages qui suivent.

nous ne mettions pas en valeur tout ce qu'il a d'insignifiant en soi.

Dans la pensée de Geoffroy Saint-Hilaire et de Dareste, l'union des parties similaires constituait le *processus lui-même* ; l'affinité du soi pour soi, pour les premiers, l'amnios pour le second étaient la cause de ce processus. J'ai montré dans d'autres mémoires (1) que, le plus souvent, les organes doubles ne résultaient pas d'une fusion, mais d'une simple *formation massive* et que lorsque, par exception, il y avait *union effective*, cette union n'était que la conséquence secondaire d'un autre processus. Tel est le cas de la Symélie. Le phénomène premier est une désorientation plus ou moins accusée des palettes embryonnaires ; cette désorientation est régie par des causes extérieures modifiant les échanges vitaux, elle est la traduction visible d'une adaptation, dans laquelle n'entre en jeu aucune affinité des palettes entre elles, ni aucune force mécanique.

La désorientation une fois bien établie, le développement des ébauches se poursuit, mais il n'existe aucune finalité qui entraîne ces ébauches l'une vers l'autre. La coalescence peut s'effectuer, elle s'effectue peut-être même le plus souvent; et elle est alors, semble-t-il, le fait d'un processus secondaire, d'un bourgeonnement supplémentaire de ces ébauches mêmes, qui n'est pas nécessairement lié au processus initial, la Formation désorientée. Nous en avons l'indication dans l'existence de l'embryon symélien à membres libres auquel ont été empruntées les figures 8, 9 et 10. Il y a là deux phénomènes parfaitement distincts, qui peuvent se dissocier et qui se dissocient : l'union des parties similaires n'est que leur resultat apparent, elle n'est, en aucune façon, l'essence même de l'un ou de l'autre.

Il faut encore, pour que cette union devienne effective, que les ébauches s'affrontent alors qu'elles sont encore constituées par une masse de tissus morphologiquement indifférents. Dareste avait parfaitement compris, et il a clairement exprimé, que la soudure, la fusion ne sont guère plus possibles une fois que les différenciations sont établies ou en voie d'établissement. Ce ne sont point les parties elles-mêmes qui se soudent, mais leurs ébauches ; suivant l'expression si heureuse, et si vraie en l'occurrence, de mon vénéré maître, *les parties naissent soudées*, c'est-à-dire que les tissus adultes se différencient aux dépens d'une masse embryonnaire unique, dans laquelle sont confondus et intimement mélangés les éléments qui appartiennent primitivement à chacune des ébauches.

(1) Et. Rabaud, Union des parties similaires — et Recherches embryol. sur les Cyclocéphaliens.

Lorsque l'union est devenue un fait accompli, tout se passe comme si l'on était en présence d'un organe simple quelconque. Les différenciations à venir, nous l'avons indiqué, n'apparaissent pas nécessairement comme elles auraient apparu si les ébauches constitutives étaient restées indépendantes.

De plus, l'ébauche unique est susceptible d'être le siège, au même titre qu'un bourgeon normal, de processus consécutifs excédents ou déficients. Ceux-ci ont un caractère tout à fait contingent, ils sont surajoutés à l'évolution tératologique, ils n'en font point partie intégrante ; ils déterminent des dispositions diverses, comme celles pour lesquelles Isidore Geoffroy Saint-Hilaire a établi les genres spéciaux des *Uromèles* et des *Sirénomèles*.

Mais si ces processus consécutifs sont complètement indépendants du processus primitif, qui est ici le processus initial ; s'il n'existe entre eux aucun rapport de cause à effet, il est d'autres dispositions embryonnaires, dont la répercussion sur l'adulte se retrouve à l'autopsie, qui paraissent être au contraire la conséquence immédiate, et probablement mécanique, du processus initial. Je veux parler des dispositions relatives aux organes génitaux et à la partie terminale du tube digestif. A leur sujet, les examens embryologiques que nous avons faits ne nous ont fourni aucune indication suffisante nous permettant d'émettre la moindre hypothèse. Nous avons vu que ces dispositions ne sont pas absolument constantes dans leur allure générale, ni dans leur existence même. Il est à peu près certain que ces variations sont en relations étroites avec les variations du processus initial, avec son étendue, soit qu'il porte sur l'ensemble du membre, la ceinture pelvienne y compris, soit seulement sur la partie libre de ce membre.

Quoi qu'il en soit, il reste à faire dans ce sens toute une série d'observations, c'est-à-dire qu'il faut attendre que les recherches futures nous aient appris à connaître dans ses détails la marche et les variations du processus. Pour l'instant, nous devons nous en tenir à dire que ce processus initial est un processus primitif de Formation désorientée convergente, auquel s'adjoignent un ou plusieurs processus, les uns secondaires, mais faisant partie intégrante de la monstruosité, les autres purement consécutifs, qui viennent remanier d'une façon accessoire le type tératologique proprement dit.

IV. — CLASSIFICATION ET AFFINITÉS NATURELLES DES SYMÉLIENS. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1. Classification.

De tout ce qui précède, ressortent logiquement la classification naturelle des Syméliens eux-mêmes et la place qu'ils doivent occuper par rapport aux autres monstruosités.

Se fondant sur l'aspect extérieur et sur les états plus ou moins complets du membre double, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire distinguait les Symèles, Uromèles et Sirénomèles. Ces distinctions ne sont pas évidemment inexactes, mais il apparaît clairement qu'elles reposent simplement sur des phénomènes tout à fait accessoires. En effet, avant de considérer le résultat des processus consécutifs qui transforment le Symélien proprement dit en telle ou telle variété, il importe de rechercher ce que produisent des processus d'un ordre supérieur par le moment de leur intervention et par les modifications qu'ils entraînent avec eux.

Le groupe des Syméliens constitue très certainement un groupe naturel caractérisé par la forme du processus initial, sur lequel nous avons suffisamment insisté.

Ce processus peut aboutir à la coalescence — que le bourgeonnement supplémentaire soit ou non nécessaire — ou simplement à la production de membres redressés et déviés, mais restant indépendants l'un de l'autre. Du fait seul des variations du processus initial, nous sommes donc conduits à distinguer deux groupes fondamentaux : celui des Syméliens à membres libres ou Syméliens *éleuthéromèles* (1) celui des Syméliens à membres unis ou Syméliens *symèles* (2).

Le premier groupe n'est pas connu à l'état adulte en tant que monstruosité isolée, mais l'observation d'un tel monstre à l'état embryonnaire, ainsi que la connaissance des dispositions du bassin et des membres des Ischiopages suffisent à justifier sa création.

Considérons maintenant le second groupe, celui des Symèles. Nous avons indiqué qu'une fois effectuée dans l'ébauche unique la différenciation des parties squelettiques et autres, deux éven-

(1) ἐλεύθερος, libre.

(2) Il y a *symélie* et non point *diplomélie*, puisque le membre double résulte d'une fusion secondaire.

tualités pouvaient se produire : ou bien le membre postérieur restant massif, la cuisse et la jambe renferment en double les organes des deux cuisses et des deux jambes ; ou bien, au contraire, il s'établit soit une division, soit une bifurcation qui libère complètement les jambes. La fusion s'effectuant de l'extrémité vers la base, il y a de multiples chances pour que cette indépendance des jambes soit secondaire et non point primitive, résultant d'une soudure incomplète. Les Symèles comprennent donc deux subdivisions : les individus à deux jambes : les *Diskèles* (1); les individus à jambe double : les *Diploskèles*.

Ayant ainsi envisagé la constitution du bourgeon unique et l'évolution subséquente de ce bourgeon, nous arrivons à considérer le cas où cette évolution n'est entravée par aucun processus consécutif et le cas où ces processus interviennent; nous savons que ceux-ci suppriment tout ou partie de l'une des moitiés du membre double ou ce membre lui-même d'une façon plus ou moins complète. Dans la première éventualité, les membres renferment toutes leurs parties constituantes à l'état double ou dissocié, la Symélie est complète, nous dirons *Diploskèles complets*. Pour ce qui est de la seconde éventualité, considérant le membre double comme un organe simple, nous constatons que les résultats des processus consécutifs sont très comparables à ceux qui s'établissent aux dépens des membres normaux ; nous sommes ainsi conduits à distinguer les *Diploskèles réduits*. La réduction est à deux degrés : elle peut porter simplement sur une partie du membre; les Diploskèles réduits seront, en outre, *hémiméliques*, parfois même seulement *ectrodactyles*, ils correspondent aux Uromèles d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire. En d'autres circonstances, les processus consécutifs déficients suppriment presque complètement l'ensemble du membre double ; il se produit ainsi une disposition comparable à l'Ectromélie qui intéresse le membre normal ; les individus remaniés de la sorte seront réunis en une catégorie spéciale, celle des *Diploskèles* réduits *ectroméliques*, correspondant aux anciens Sirénomèles.

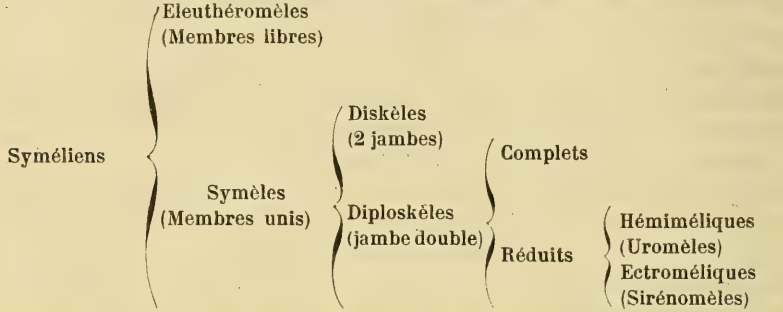
Ajoutons que des catégorisations parallèles pourront être nécessitées pour les autres groupes, Eleuthéromèles ou Diskèles.

Quant aux termes d'uromèle et de sirénomèle, il me paraît tout-à-fait inutile de les conserver. Ces termes n'impliquent en somme qu'une comparaison grossière du membre considéré avec un appendice caudal ou un être fabuleux, ils n'expriment nullement le

(1) σχέλος, jambes.

fait anatomique qu'ils servent à désigner. La qualification d'ectromélique ou d'hémimélique est en soi beaucoup plus juste, et aussi beaucoup plus claire, elle répond à une désignation connue.

Le tableau suivant résume ce qui précède :



2. — Affinités naturelles des syméliens.

Isidore Geoffroy Saint-Hilaire avait rapproché les Syméliens des Ectroméliens, trouvant entre ces deux formes tératologiques ce trait commun que les premiers présentaient parfois les caractères des seconds. Dareste, bien qu'ayant partiellement reconnu la genèse de la monstruosité, avait adopté cette manière de voir. Un seul point restait en litige, celui de savoir si la Symélie devait se placer avant ou après l'Ectromélie. « Si l'on prend la série dans l'ordre synthétique, écrit-il, c'est-à-dire en suivant l'ordre même du développement, on doit placer les monstres syméliens après les ectroméliens. Si, comme l'a fait Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, on procède par voie analytique, c'est-à-dire en remontant peu à peu jusqu'au point de départ des formations animales, on doit placer les syméliens après les ectroméliens » (1).

Nous avons suffisamment établi la subordination des processus hémiméliques et ectroméliques au processus même de la Symélie, pour qu'il soit nécessaire d'insister longuement sur l'erreur fondamentale dans laquelle sont tombés les maîtres de la Tératologie. Les actions consécutives d'arrêt sont, à ce point de vue, tout à fait négligeables et, à voir les choses sous leur vrai jour, Ectroméliens et Syméliens n'ont entre eux aucune relation génétique. Les pre-

(1) C. Dareste. — Op. cit., p. 234.

miers dérivent des processus primitifs normaux ; leurs membres suivent la filière des phases habituelles, jusqu'au moment où ils deviennent le siège d'un arrêt de croissance, de différenciation ou de développement. Les seconds sont sous la dépendance d'un processus primitif anormal, complètement différent dans son essence des processus normaux. Dès le début il y a donc entre les uns et les autres une ligne de démarcation parfaitement tranchée; on ne saurait les comparer en aucune façon, sinon pour établir leurs profondes dissemblances. Que le processus anormal devienne, au même titre que le processus normal, le siège d'une action d'arrêt, la chose est incontestable, mais ce n'est point là une raison suffisante qui permette de rapprocher étroitement deux formations si complètement étrangères l'une à l'autre. Le parallélisme qui les relie est un parallélisme tout à fait superficiel, trouvant sa raison dans ce fait que tous les processus génétiques peuvent, d'une façon quelconque, se compliquer d'un processus consécutif.

La recherche des affinités des formes organiques ne peut être limitée aux apparences morphologiques qui induisent si souvent en erreur ; il est nécessaire de recourir, aussi bien en tératologie qu'en zoologie normale, à l'étude et à la comparaison des processus généraux. Dans ces conditions, les Syméliens, procédant d'une Formation désorientée, doivent être rapprochés de tous les types tératologiques qui, à un titre quelconque, relèvent de la Formation désorientée intervenant comme processus initial, quel que soit son siège. Chez les Syméliens, c'est le tissu conjonctif sur lequel porte la genèse anormale ; nous connaissons les Omphalocéphales et les Ourentériens chez qui c'est le tissu nerveux, les Cordentériens chez qui c'est le tissu de la corde dorsale. Aussi éloignés que soient les uns des autres ces divers types monstrueux, il existe entre eux des rapports embryologiques bien plus étroits, établis par l'allure générale du processus initial, qu'entre les Ectroméliens et les Syméliens qui dérivent de processus initiaux radicalement opposés. Omphalocéphales, Ourentériens, Cordentériens, Syméliens constituent un vaste ensemble tératologique, un embranchement au sens systématique du mot, dont le lien réside dans un caractère génétique très général : la désorientation.

Il semble probable que l'on doive faire entrer dans cet embranchement un autre type tératologique chez lequel la Formation désorientée intéresse le tissu conjonctif des parois thoraciques. Il s'agit de la Chélonisomie. J'ai indiqué plus haut le caractère essentiel de cette très rare forme tératologique. Elle est actuellement rangée

dans le groupe des Célosomiens, sous le prétexte que la cavité du corps est largement ouverte. C'est là une apparence extérieure qui peut provenir de processus très divers et nous ne pouvons nous arrêter à de tels caractères de morphologie pure.

Pour expliquer l'évolution embryonnaire des Chélonisomes, on a invoqué hypothétiquement une traction bilatérale passive de l'amnios. J'ai donné les raisons qui ne permettaient point d'accepter cette hypothèse; j'ai montré, en particulier, que même si l'amnios pouvait jouer l'office de bride, cette bride ne subirait aucune rétraction secondaire, qu'elle resterait toujours suffisamment étendue pour supprimer toute possibilité d'une mise en contact par action mécanique. Cette action est même plus difficile à comprendre pour les Chélonisomes que pour les Syméliens. Chez ceux-ci, en effet, le membre subit un accroissement de volume très notable qui ne se retrouve pas à un degré aussi accusé, loin de là, pour les parois thoraciques. Or, chez les Chélonisomes, non seulement il y a redressement et renversement en arrière des parois costales, mais il y a aussi formation d'un sternum complètement ou partiellement unique. Si, par le fait d'un simple accroissement de volume, on peut admettre que deux membres rapprochés parviennent au contact, il paraît impossible d'admettre le même phénomène pour deux hémi-sternums dont le volume est toujours relativement faible. Rien n'autorise à croire que la coalescence peut ainsi parvenir à s'effectuer, d'autant moins, que si l'amnios subit, en fait, une action d'arrêt, il s'agit d'un ralentissement simple et non d'un arrêt complet.

Il me paraît beaucoup plus vraisemblable, que le processus initial de la Chélonisomie est un processus primitif de désorientation symétrique et convergente, résultant d'une adaptation pure et simple et non d'un effort mécanique extérieur. Par l'effet de ce processus localisé sur la paroi costale, celle-ci se redresse et se renverse; il se constitue une surface de soudure plus ou moins étendue, aux dépens de laquelle se différenciera ultérieurement un sternum unique, tout au moins sur une partie de sa longueur.

Comme conséquence de ce processus, ou peut-être même comme processus simplement surajouté, les culs-de-sac amniotiques périembryonnaires cessent de croître, l'enveloppement ectodermique du corps ne se constitue point, de sorte que les viscères thoraciques et abdominaux restent complètement à nu. La coupe transversale d'un tel monstre est, en somme, très comparable aux coupes transversales du Symélien auquel sont empruntées les figures 3 à 7.

Seulement, chez cet embryon la non fermeture du corps est un phénomène accidentel, tandis que dans la Chélonisomie il est tout à fait constant. Le processus a peut-être pour contre-coup de déterminer un amnios étroit et nous comprendrions très bien alors que la tête du monstre s'allongeant normalement vienne buter contre l'enveloppe et se retourne d'avant en arrière pour s'accommoder à l'espace qui lui est dévolu.

M. Louis Blanc a insisté sur le fait que l'amnios du Chélonisome pouvait devenir le siège d'un excès de développement et se transformer en tissu cutané. Cela n'est point un phénomène nécessaire et sur le bovidé Chélonisome que j'ai moi-même observé, il n'en était pas ainsi (1).

Au surplus l'aspect du squelette du Chélonisome est beaucoup plus en faveur d'une action adaptative symétrique, permettant aux formes d'acquérir une certaine harmonie, un certain « moelleux » des contours, que d'une action mécanique qui a pour effet, le plus souvent, des plicatures nettes, des angles à arêtes vives.

Pour toutes ces raisons, je crois que l'on doit, provisoirement tout au moins et en l'absence de données embryologiques positives, séparer les Chélonisomes du groupe un peu hétéroclite des Célosomiens et les rattacher au groupe général de la Formation désorientée. Ils y prennent place à côté des Syméliens, les uns intéressés par le tissu conjonctif des membres, les autres par le tissu conjonctif des parois du corps.

3. Conclusions générales.

On voit, par tout ce qui précède, combien il est important d'avoir recours aux indications génétiques, pour établir les relations des divers types monstrueux. En s'abandonnant purement et simplement aux données de la morphologie, on court le risque de tomber dans les plus grossières erreurs, de rapprocher et d'identifier même les unes avec les autres les formes les plus différentes, de séparer au contraire celles que l'on doit, suivant toute apparence, placer dans un même groupe général ou dans une même famille.

Pour ce qui est de la Symélie, en particulier, il pourrait fort

(1) Le Chélonisome auquel je fais allusion fut apporté au Laboratoire de Tératologie en juin 1898. Je l'ai soigneusement disséqué et j'en ai fait monter le squelette. Au cours du déménagement qui a suivi la mort de Dareste, les notes que j'avais prises à ce sujet ont été en majeure partie égarées; je n'ai pu ni les retrouver, ni les reconstituer. — Le squelette est actuellement déposé au Musée Broca, de l'École d'Anthropologie.

bien se faire qu'il se produisît des êtres chez lesquels la coalescence des membres postérieurs fût le résultat de processus absolument différents de ceux que nous venons de décrire. W. Patten, par exemple, a observé chez *Limulus Polyphemus* (1) la production d'une sorte de Symélie secondaire, consécutive à la destruction de la paroi abdominale interposée entre deux appendices d'un même segment. Supposons un phénomène pathologique destructif analogue chez l'embryon de vertébré, il s'en suivra nécessairement le rapprochement des membres postérieurs. Sans doute le membre unique résultant n'aura pas les mêmes caractères que celui de Symèles vrais, il n'y aura point, en particulier, l'inversion des membres, mais les chances sont grandes pour que tout tératologiste qui s'en tient aux considérations de morphologie pure considère un tel individu comme un Symélien vrai, chez lequel l'inversion ne s'est pas effectuée. Et cependant combien sera grande, en réalité, la distance interposée entre ces deux formes organiques.

Assurément, les affinités et les différences que nous établissons d'ores et déjà à la lueur des documents embryologiques nouveaux n'ont pas et ne peuvent avoir un caractère définitif. Nous croyons cependant nous rapprocher de la vérité dans une mesure appréciable, sans dissimuler que nous restons encore loin de la vérité tout entière. Les lacunes qui restent à combler sont extrêmement nombreuses ; on ne parviendra à les faire disparaître les unes après les autres que par la recherche embryologique sous toutes ses formes. Ainsi que le proclamait Dareste, les indications qu'elle donne, aussi imparfaites soient-elles, sont encore infiniment supérieures à celles que fournit l'interprétation des dissections anatomiques (2).

(1) W. Patten. Variations in the development of *Limulus polyphemus* (*Journal of Morphology*, 1896).

(2) Aux indications bibliographiques qui précèdent, j'ajouterai les suivantes :

a) Manners Smith. — Two Symmelian Monsters. *J. of. Anat. and Phys.*, 1895, qui conclut à la vérification de la théorie classique ;

b) Broca. — Présentation d'un Symélien symèle *nègre* (*Bulletin de la Soc. d'Anthr. de Paris*, 1863, p. 612.

c) Katz. — Monstre symélien (symèle) et pseudencéphalien (*Societé Anatomique de Paris*, 1902).

Sorti des presses en avril 1903.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE PARIS

FONDÉE EN 1788

Smithsonian Institution
FEB
National Museum

NEUVIÈME SÉRIE. — TOME V

N° 2

1902-1903

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

1903

Le Secrétaire-Gérant,
E.-L. BOUVIER.

Le Bulletin paraît par livraisons trimestrielles.

COMPOSITION DU BUREAU POUR 1903

Président : M. Désiré André, 70bis, rue Bonaparte, Paris, VIe.

Vice-Président : M. Dongier, 82, rue Claude-Bernard, Paris, Ve.

Archiviste : M. Henneguy, 9, rue Thénard, Paris, Ve.

Secrétaire des publications : M. E.-L. Bouvier, 39, rue Claude-Bernard, Paris, Ve.

Vice-Secrétaire des publications : M. Henri Neuville, 55, rue de Buffon, Paris, Ve.

Secrétaire des séances : M. Lécaillon, 118, rue Monge, Paris Ve.

Vice-Secrétaire des séances : M. Leau, 6, rue Vavin, Paris, VIe.

Trésorier : M. J. Mabille, 7bis, rue Laromiguière, Paris, Ve.

La Société Philomathique de Paris se réunit les 2e et 4e Samedis de chaque mois, à 8 h. 1/2, à la Sorbonne (salle de travail des Étudiants).

Les membres de la Société ont le droit d'emprunter des livres à la Bibliothèque de l'Université. Ils ont également droit, sur leur demande, à 50 tirages à part gratuits des Mémoires qu'ils publient dans le Bulletin.

Pour le paiement des cotisations et l'achat des publications, s'adresser à M. Reyckaert, Hôtel des Sociétés Savantes, 28, rue Serpente, Paris, VIe

---

Extraits des Comptes-rendus

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

(pour les mois d'avril, mai et juin 1903)

Séance du 4 avril 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

M. le Président annonce la mort de M. Edmond Alix, membre de la Société. Il exprime les regrets causés à tous par cette mort.

M. Lécaillon fait une communication sur l'existence et sur la disposition de « l'Ergastoplasma » dans les cellules épithéliales de l'intestin moyen des Insectes. Comme dans les cellules sécrétrices en général, on trouve des formations ergastoplasmiques dans les cellules épithéliales de l'intestin des Hexapodes. Elles paraissent être surtout très abondantes dans les espèces vivant de matières d'origine végétale. On les rencontre aussi bien chez les larves (larve de *Pyrochroa*) que chez les adultes (*Timarcha*) ou que chez les espèces sans métamorphoses (*Papirius minutus*).

Le processus d'évolution paraît être celui-ci : il y a d'abord des filaments situés à la base des cellules ou même dans presque toute la masse de celles-ci. Puis ces filaments forment des granulations expulsées ensuite, après dissolution, dans la cavité intestinale. Parfois, comme dans *Papirius minutus*, il y a des *amas* ergastoplasmiques entre le stade filamenteux et le stade granulé. Les formations ergastoplasmiques sont fortement colorables par les colorants ordinaires de la chromatine.

M. Rabaud présente la radiographie de l'avant-bras et de la main d'une jeune fille caractérisé par l'absence du radius, de la colonne radiale du carpe et du pouce. Il indique que les observations de cette anomalie commencent maintenant à se multiplier.

Séance du 18 avril 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

M. le Ministre de l'Instruction publique informe la Société qu'il lui a accordé sa subvention annuelle habituelle.

Élection de M. le Dr Langeron comme membre titulaire dans la 3e section.

M. Dongier fait la communication dont le résumé suit, sur la mesure des grandeurs électriques :

Le courant alternatif fourni par le secondaire d'une bobine d'induction dont le trembleur est une lame vibrante (environ 500 vibrations doubles à la seconde) permet la mesure de la résistance des électrolytes ; il suffit d'employer la disposition du pont de Wheatstone et de constater l'équilibre du pont au moyen d'un téléphone accordé sur le diapason. Cette méthode a été étudiée par Kohlrausch ; elle a été très souvent employée en Allemagne. MM. Lesage et Dongier l'ont utilisée dans les recherches qu'ils ont entreprises depuis deux ans sur les liquides de l'organisme, le lait, le sérum sanguin, ainsi que dans les fermentations microbiennes.

M. Dongier montre que les organes principaux de l'appareil, bobine, téléphone et pont à corde, peuvent servir aussi dans la mesure des principales grandeurs électriques, en particulier, des capacités électriques et des coefficients de self-induction.

1° Dans ce dernier cas, il est possible d'équilibrer deux self-inductions l'une par l'autre en les disposant dans deux branches du pont de Wheatstone, dont la troisième et la quatrième branches sont constituées par le pont à fil le long duquel se déplace le curseur de contact mobile. L'équilibre du pont est réalisé lorsque le rapport des résistances des deux branches est égal au rapport des coefficients de self-induction, en même temps qu'au rapport des résistances des deux segments du fil du pont à corde, situés de part et d'autre du curseur. Ces relations entraînent à la fois l'identité des amplitudes des deux courants alternatifs circulant en sens inverse dans la branche du pont contenant le téléphone ainsi que l'identité des décalages. L'extinction du son est alors complète.

2° La comparaison directe d'une capacité à une self-induction peut être obtenue en remarquant que le système composé d'une capacité en dérivation sur une résistance, inductive ou non, joue au point de vue du décalage un rôle inverse de celui de la self-induction. Il provoque une avance de phase, alors que la self-induction produit un retard de phase. En faisant varier une résistance non inductive entre les bornes du condensateur, on peut obtenir une compensation complète entre l'avance et le retard. On peut la constater par l'extinction au téléphone, en disposant le système précédent dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone. Soit r_1 la résistance comprise entre les bornes du conden-

sateur de capacité C, la self-induction, de coefficient L, étant en dehors des bornes du condensateur qui permet l'équilibre du pont. Soit r_2 la résistance, comprise entre les bornes du condensateur comprenant la résistance non inductive et la self-induction à mesurer, qui fournit l'équilibre dans une seconde expérience. Si la période du courant alternatif n'a pas changé d'une expérience à l'autre, on a la relation très simple :

$$L = Cr_1r_2.$$

Le montage expérimental n'exige qu'un pont à corde étalonné. Il est inutile de connaître la valeur des résistances des différentes branches du pont ; il suffit qu'elles soient sans self-induction. Avec cette méthode M. Dongier arrive à mesurer des coefficients de self-induction extrêmement petits, de l'ordre du dix-millionième de Henry.

M. Lesage fait une communication sur les indications cliniques fournies par l'étude des résistances électriques du sérum sanguin.

Séance du 9 mai 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

M. Deschamps fait une communication sur la construction de la marche des rayons lumineux dans les lentilles (voir le travail dans le *Bulletin*).

M. André fait une communication sur un théorème relatif à l'ellipse.

Séance du 23 mai 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

M. Rabaud présente, comme candidat titulaire dans la 3e section, M. J. Noé, chef adjoint de laboratoire à la Faculté de Médecine.

M. Winter fait une communication sur les expériences cryoscopiques faites sur les diverses humeurs organiques.

Il rappelle ses recherches, déjà publiées en 1895, 1896 et 1897, sur la *compensation* chimique dans les solutions humorales. Les chlorures jouent, dans cette compensation, un rôle prépondérant et ce rôle est certainement l'une des fonctions essentielles de ces éléments dans l'organisme, comme la compensation elle-même est l'un des grands mécanismes dont l'organisme dispose pour maintenir son homogénéité constitutionnelle.

Pour élucider le jeu fonctionnel au moyen duquel l'Economie

réalise cette compensation, M. Winter fut amené à étudier diverses propriétés dynamiques générales des humeurs, notamment : 1) les variations et les limites, pendant le travail organique, de leur point de congélation ; 2) leur tension superficielle.

Ses résultats cryoscopiques sont connus depuis 1895-1896 ; il les résume en quelques mots et indique, en passant, sa technique particulière pour déterminer le point de congélation.

Mais ses recherches sur la tension superficielle, quoiqu'antérieures aux précédentes, n'ont jamais été publiées en raison d'une certaine incertitude dont sont entachés les résultats obtenus par la méthode utilisée.

Néanmoins, *pour prendre date*, il signale que le sérum sanguin et les sérosités qu'il a examinés avaient tous une tension superficielle voisine de celle de l'eau, malgré leur constitution chimique complexe. Il en est de même des urines dont la tension subit, néanmoins, quelques oscillations.

Ces résultats s'expliquent aisément par l'association, dans ces liquides, de substances minérales (chlorures) à tension plus élevée que celle de l'eau et de substances organiques à tension plus basse. Ils fournissent par conséquent une interprétation très simple de la compensation chimique que constate l'analyse et livrent la clef du mécanisme, d'*ordre capillaire*, par lequel les organes puisent dans le sérum sanguin.

Jusqu'ici on a surtout attribué cet équilibre chimique des humeurs aux seuls phénomènes osmotiques. On considère, en particulier, que le mécanisme rénal est osmotique. Non seulement cela apparaît comme impossible, l'urine ne pouvant pas être à la fois la *cause* et l'*effet* de sa propre formation dans le rein (voir C. R. A. des Sciences, 3 mars 1902), mais beaucoup de faits sont en contradiction avec cette théorie, notamment la structure éminemment capillaire du rein et beaucoup de points cryoscopiques urinaires.

L'équilibre osmotique ne se réalise qu'entre les cellules d'un même groupe fonctionnel et entre les plasmas de ces cellules et les liquides qui éventuellement les baignent directement. La limite cryoscopique *inférieure* du liquide stomacal en fournit la preuve (voir Arch. de physiologie. Winter, 1896).

MM. Dongier et Desgrez présentent diverses observations à propos de la communication précédente.

M. Henneguy présente la candidature, comme membre correspondant dans la 3e section, de M. Louis Petit, docteur ès sciences, 27 bis, rue d'Elbeuf, à Rouen.

Séance du 13 juin 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

M. le Président lit une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique proposant à la Société de prendre part à l'Exposition internationale de Saint-Louis (Etats-Unis d'Amérique) en envoyant ses publications depuis l'année 1900. Cette proposition est adoptée.

M. Rabaud fait un rapport sur la candidature de M. J. Noé.

M. Lécaillon fait un rapport sur la candidature de M. Louis Petit.

M. Dongier fait des expériences pour appuyer la communication faite récemment sur la mesure des grandeurs électriques et dont le résumé est indiqué plus haut.

Séance du 27 juin 1903

PRÉSIDENCE DE M. D. ANDRÉ

Élection de M. J. Noé et de M. Louis Petit.

M. Coutière fait une communication sur quelques espèces nouvelles d'Alphœidées (voir le travail dans le *Bulletin*).

M. Rabaud entretient la Société d'observations relatives à un cas d'ectopie intra-thoracique des viscères abdominaux, caractérisé par la brièveté de l'œsophage. Ce conduit ne dépasse pas le 2e espace intercostal et débouche directement dans l'estomac. Ce dernier organe, par suite, se trouve maintenu dans la cavité thoracique gauche ; il est vertical, sa grosse tubérosité regarde en haut, elle est accompagnée de la rate qui est alors située sous la clavicule gauche. Le foie, très volumineux, présente un lobe gauche qui occupe la cavité thoracique et recouvre complètement l'œsophage.

Quant au diaphragme, il est normal à droite. A gauche il remonte obliquement, revêtant le lobe gauche du foie ; il a conservé ses insertions postérieures, mais son bord antérieur est libre. Il n'est point perforé, l'œsophage le traverse et contracte sur lui les adhérences habituelles.

Ce cas très remarquable est sous la dépendance de l'arrêt de croissance de l'œsophage. Cet arrêt de croissance est limité à l'élongation du tube œsophagien ; la croissance transversale n'est nullement intéressée, car le calibre du conduit est comparable au calibre d'un œsophage normal du même âge. Il y a une dissociation intéressante de la direction des plans de division des plastides constitutifs de l'œsophage.

Le Secrétaire des Séances,

A. LÉCAILLON.

SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'OVAIRE DE *POLYXENUS LAGURUS* DE GEER,

par A. LÉCAILLON.

Dans les individus récemment sortis de l'œuf, il existe deux ébauches ovariques distinctes, placées à droite et à gauche du tube digestif, tout contre celui-ci, et situées dans l'avant-dernier anneau du corps. Chacune d'elles est formée par un petit amas d'oogonies entouré d'une enveloppe constituée par une assise de cellules aplaties. Entre les oogonies on trouve çà et là de petites cellules destinées à former plus tard les éléments folliculaires. A ce moment la partie essentielle de l'ovaire a donc la *même composition que chez les Insectes* envisagés au même stade.

Dès que les ébauches ovariennes commencent à évoluer, elles se dirigent vers le plan de symétrie du corps, s'insinuent entre le tube digestif et la chaîne nerveuse et finalement se fusionnent sur la ligne médiane. Les deux masses oogoniales primitives se confondent alors en un seul amas qui représente une *zone germinative*. Autour de celle-ci se voit encore une membrane enveloppante semblable à celle qui entourait primitivement chacune des ébauches ovariennes. A partir de cet instant, l'organe reproducteur femelle diffère de celui de *tous les Insectes*, puisque chez ceux-ci il demeure toujours double.

Ultérieurement l'enveloppe ovarienne prend peu à peu le caractère d'un vaste sac qui s'accroît vers l'avant, sur les côtés et de bas en haut, en refoulant le tube digestif du côté dorsal. La zone germinative au contraire n'acquiert toujours qu'un volume restreint; elle demeure sur la ligne médiane, appliquée contre la face inférieure du sac ovarien qui repose elle-même sur la chaîne nerveuse. Elle s'avance cependant vers l'avant et, dans les ovaires très développés, on la trouve à peu près à égale distance des extrémités antérieure et postérieure du corps. Ces faits rapprochent beaucoup l'ovaire des *Chilognathes* de celui des *Collemboles*, car chez ces derniers animaux le caractère le plus important des ovaires est précisément de prendre la forme d'un sac renfermant une zone germinative ne se localisant pas à l'extrémité antérieure.

Les oogonies donnent naissance uniquement à des oocytes; il n'y a donc pas de cellules vitellogènes. Chaque oocyte s'entoure d'une capsule folliculaire qui demeure très mince pendant toute la durée

de la formation de l'œuf. Cette capsule reste d'abord rattachée à la région de la zone germinative au moyen d'un pédicule ; ce dernier se rompt ensuite et les œufs, revêtus de leur follicule, remplissent la cavité ovarienne. La zone germinative fonctionne d'une manière à peu près continue de sorte que l'on peut trouver simultanément dans l'ovaire des œufs à divers degrés de développement.

Les phénomènes cytologiques qui se produisent dans l'œuf pendant son évolution présentent un grand intérêt. Les cellules de la paroi folliculaire demeurent très petites ; en conséquence l'activité des phénomènes chimiques liés à l'accroissement de l'œuf et à la formation du vitellus nutritif est surtout concentrée dans l'œuf lui même. Elle s'y manifeste par certains signes très caractéristiques affectant les éléments chromatiques.

Dans la vésicule germinative, il y a tout au début accroissement notable des granulations chromatiques qui demeurent très colorables. Puis ce sont les taches germinatives qui grossissent beaucoup, retiennent très fortement les colorants et deviennent très vacuolaires. Dans la règle il n'y a qu'une tache germinative dans un œuf ; parfois cependant on en trouve deux ou même trois.

Dans le cytoplasma ovulaire apparaît de très bonne heure une matière différenciée spéciale que je désignerai simplement sous le nom de *substance cytochromatique*. Elle augmente très rapidement en quantité, de manière à occuper bientôt une très grande partie de l'œuf. Elle se présente sous des formes assez diverses suivant les différents œufs et les différents stades d'un même œuf. Le plus souvent elle revêt la forme d'un long boyau entourant plus ou moins complètement la vésicule germinative. La substance cytochromatique paraît être identique à celle qui constitue les taches germinatives visibles en même temps dans la vésicule germinative. Elle possède les mêmes affinités pour les matières colorantes et se creuse de vacuoles absolument identiques.

Les corps formés par la substance cytochromatique ont été signalés chez d'autres animaux, particulièrement par Némec (1897) chez divers Myriapodes et par Jatta (1882) et van Bambeke (1898) chez *Pholcus*. Ces corps représenteraient, surtout pour ce dernier auteur, le noyau vitellin de Balbiani. Sans me prononcer sur ce dernier point, je puis dire que dans *Polyxenus lagurus* on est conduit logiquement à reconnaître que la substance cytochromatique représente une différenciation protoplasmique spécialement *destinée à l'élaboration des matières assimilables dont l'œuf a besoin.*

NOTE
SUR QUELQUES ALPHEIDÆ DES MALDIVES ET LAQUEDIVES

par **H. COUTIÈRE**

Une expédition anglaise, faite pendant les années 1899 et 1900, a visité les archipels madréporiques des Maldives et Laquedives au point de vue de leur histoire naturelle ; les résultats de cette expédition sont en cours de publication.

Parmi les Crustacés recueillis, les Alpheidæ m'ont été adressés pour l'étude. Ils constituent une collection des plus importantes par le nombre des spécimens, et la quantité de formes nouvelles qui s'y trouve indique avec quel soin, et quelle connaissance de leur faune, les Coraux ont été explorés par les zoologistes de l'expédition, MM. J. Stanley Gardiner et L. A. Borradaile. Je ne parlerai dans cette note que des genres *Automate*, *Athanas*, *Arete* et *Alpheopsis*, en attendant la publication intégrale de mon travail.

Genre **Automate** de Man

A. Gardineri, H. Coutière

Automate Gardineri H. Coutière, Bull. du Muséum, nº 6, 1902.

Longtemps réduit à la seule *A. dolichognatha* de Man, le genre *Automate* compte aujourd'hui 5 espèces dont la distribution embrasse la zone intertropicale entière, au nord de l'équateur.

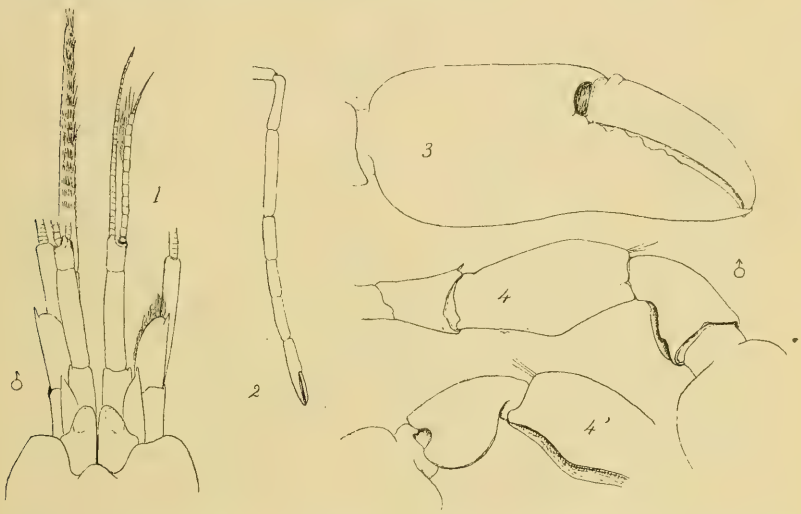
La nouvelle espèce, due à MM. J. St. Gardiner et L. A. Borradaile, est très voisine de l'*A. dolichognatha* de Man.

Le fond de l'échancrure du bord frontal présente une convexité antérieure très marquée, et les côtés de ce lobe médian ont une tendance à se continuer sur la carapace le long d'une légère dépression (fig. 1, 5).

L'article proximal du pédoncule antennulaire (portion visible) n'a guère que la moitié de la longueur des ophtalmopodes. L'article médian, de longueur variable avec l'âge des spécimens, est égal au précédent chez les adultes, ou même légèrement plus long. L'article distal a, chez les adultes, le tiers environ de la longueur du médian.

Le scaphocérite dépasse légèrement la moitié de l'article antennulaire médian. Le pédoncule antennaire ne dépasse que très peu en longueur celui des antennules.

Les maxillipèdes externes comme chez l'*A. dolichognatha*. Cette description du bord frontal et des appendices céphaliques s'applique aux deux sexes. On ne peut y relever, comme différence sexuelle, que la présence de 13 articles à la hampe du fouet antennulaire externe chez le ♂, au lieu de 12 chez la ♀. Cette différence existe d'ailleurs chez l'*A. dolichognatha*.



Automate Gardineri H. C. (× 10). — 1, Spécimen ♂ (type); 2, Carpe de la 2me paire; 3, Patte de la 1re paire (grande pince); 4, id. (Carpe, mero et ischiopodite, vus en dedans); 4'. id. (Carpe et meropodite, vus en dehors).

La forme des membres de la première paire différencie nettement les deux espèces.

Dans les exemplaires des Maldives, une seule grande pince, détachée, peut être attribuée à un ♂ (fig. 3, 4, 4'). La comparaison avec un exemplaire très adulte provenant de Mascate (M. Maindron, Collections du Muséum) ne permet aucun doute. La pince est rectangulaire, à bords parallèles, les doigts sont un peu plus longs que la paume, et celle-ci est un peu plus longue que haute.

Le carpe est fortement élargi en avant, et son bord distal est trilobé. Le méropodite, fortement renflé, est environ 2 fois aussi long que le carpe, et ses bords sont distincts de ceux de l'ischiopodite, renflé à son extrémité distale (fig. 4, 4').

Chez la ♀, la grande pince est de forme différente (fig. 6, 7). Les doigts n'ont plus que les 2/5 de la longueur de la paume, et la moitié de sa hauteur. Le rapport de la longueur à la hauteur, pour la pince entière, est toujours inférieur à 2, alors qu'il dépasse presque toujours ce chiffre chez l'*A. dolichognatha* ♀, dont la grande pince est plus longue et moins renflée.

Le carpe est court, trilobé, très élargi distalement, avec une forte saillie triangulaire sur son bord inférieur (du côté de la pointe du doigt mobile (fig. 7). Cette saillie n'est pas présente sur

Automate Gardineri H. C. (× 10). — 5, Spécimen ♀ (type); 6, Patte de la 1re paire (grande pince); 7, id. (Carpe, mero et ischiopodite, vus en dehors) (× 25); 8, *Automate dolichognatha* de Man (Carpe, mero et ischiopodite, vus en dehors) (× 25).

la grande pince détachée du ♂, décrit plus haut, mais elle existe sur l'exemplaire ♂ de Mascate, moins accentuée toutefois que chez les ♀ des Maldives. On ne la trouve jamais chez l'*A. dolichognatha*.

Le méropodite (fig. 6, 7) est court et fortement renflé en son milieu ; le rapport de sa longueur et de sa largeur est de 1,38 à 1,5 au lieu de 1,6 à 2 chez l'*A. dolichognatha*. De même que chez le ♂, l'ischiopodite est fortement renflé distalement, et ne continue pas les bords du méropodite (fig. 7) ainsi qu'il le fait chez l'*A. dolichognatha* (fig. 8).

Sur la deuxième paire, dans les 2 sexes, les segments 3 et 5 du carpe sont égaux, le segment 4 un peu plus petit (fig. 2).

Distribution : Mascate (M. Maindron, 2 ex.), Djibouti (H. Coutière, 1 ex.) Coll. du Muséum), Kinsgmill Island (Coll. de Yale College, U. S. A., 1 ex.), Minikoi Atoll, Mahdu Vahri Atoll, Goidu Atoll, Hulule Male Atoll (MM. J. St. Gardiner et Borradaile, 10 ex.).

Je n'ai pas rencontré l'*A. dolichognatha* parmi les spécimens des Laquedives et Maldives.

Genre **Athanas** Leach

Athanas Djiboutensis H. Coutière

A. Djiboutensis. H. C. Bull. du Muséum, n° 6, p. 233, 1897.
— — Ann. des Sc. nat. (6), p. 62, 177 ; fig. 4, 207, 1899.
A. sulcatipes Borradaile. P. Z. S. p. 1011, pl. 65, fig. 9, 1898.

M. L. A. Borradaile a bien voulu me soumettre les types de l'*A. sulcatipes*, provenant de Funafuti Atoll (Arch. Fiji). J'ai pu me convaincre de la parfaite identité de cette espèce avec l'*A. Djiboutensis*, dont la distribution géographique se trouve ainsi très étendue.

C'est une des formes les plus typiques du genre *Athanas*. Le rostre peut atteindre presque l'extrémité du pédoncule autennulaire ; ses bords sont parallèles sur 1/3 de leur longueur, puis convergent en pointe aiguë, légèrement relevée. Les épines supra-cornéennes sont bien détachées du rostre, fortes et triangulaires. Des deux épines extra et infra-cornéennes, l'inférieure est la plus grande, sans atteindre toutefois le bord de la cornée.

Le stylocérite n'atteint pas d'ordinaire l'extrémité de l'article antennulaire médian.

Les pattes de la première paire montrent un dimorphisme sexuel très accusé, et de plus, dans l'un et l'autre sexe, une asymétrie surtout marquée chez les ♀.

Chez le ♂, les deux membres ont, à un degré un peu inégal, le méropodite très volumineux, à bords foliacés et engaînants. Le carpe de la grande pince est très court, de forme hémisphérique, le propodite est ovoïde, un peu plus renflé distalement, la partie se plaçant dans la gaîne du méropodite est un peu aplatie de part et d'autre d'une crête longitudinale très peu marquée. Les doigts, béants, sont armés de tubercules rugueux, le doigt mobile étant courbé en demi-cercle.

Sur le membre opposé, plus petit, la partie médiane du carpe, dirigée en avant quand la pince est repliée, affecte la forme d'une saillie conique très caractéristique. Le propodite est beaucoup moins renflé, et les doigts presque inermes.

Chez la ♀, les pinces sont beaucoup plus dissemblables. La plus grande ressemble assez à la plus petite du ♂ ; le méropodite est toutefois plus long, moins engaînant, le propodite presque cylindrique ; le carpe n'a pas de prolongement conique.

Le membre opposé est très grêle, sa longueur totale n'atteint pas celle du méropodite du précédent. Le méro et le propodite (doigts compris) sont sensiblement égaux, le carpe un peu plus court. Tous ces articles sont grêles, cylindriques, les doigts inermes joignent exactement.

Distribution : Djibouti (H. Coutière).
— Funafuti, Ellice Island (J. St. Gardiner).

Naifaro Reaf, Hulule Male Atoll, Minikoi Island, récifs et lagon (1 ex. provenant de cette dernière station a été capturé dans les trous d'une pièce de bois perforée par les Tarets, J. St. Gardiner et L. A. Borradaile).

Athanas Minikoensis n. sp.

Cette espèce est extrêmement voisine de l'*A. dimorphus* Ortmann. Elle en est toutefois facile à distinguer, et je n'hésite pas à la considérer comme nouvelle, bien qu'elle soit représentée par un unique spécimen ♀, mutilé (fig. 9-10).

Par la forme du rostre, l'absence totale d'épine supra-cornéenne, par l'épine extra-cornéenne un peu plus grande que l'épine inférieure, la nouvelle espèce est entièrement semblable à l'*A. dimorphus* tel que l'a décrit Ortmann et tel que je l'ai retrouvé à Djibouti. La différence porte uniquement sur les membres de la première paire, dont un seul est présent sur le type.

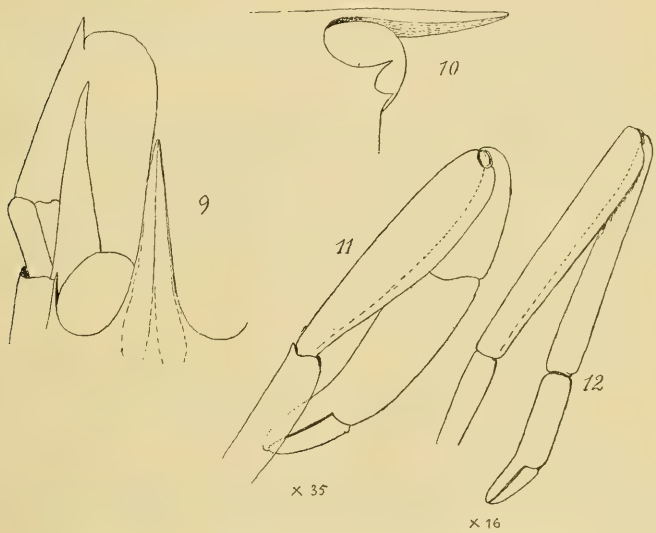
Chez l'*A. dimorphus* ♀ (fig. 12), ces membres sont égaux et très grêles. Le méropodite, légèrement engaînant, et le carpe, plus court, sont l'un et l'autre allongés et cylindriques ; ils ont, surtout le carpe, un peu moins de 2 fois la longueur du propodite (doigts compris). Ce dernier article est lui-même cylindrique dans toute sa longueur ; les doigts, inermes et joints, ont la moitié de la longueur de la paume.

Chez l'*A. Minikoensis* (fig. 11), le membre entier est beaucoup plus robuste. Le méropodite, nettement engaînant dans sa partie distale, est deux fois aussi long que le carpe, celui-ci étant à peu près égal

à l'ischiopodite, et de forme conique. La paume est légèrement ovoïde, seulement un peu plus courte que le méropodite ; la pince, doigts compris, est plus longue que ce dernier article. Les doigts sont inermes et joints. La forme du membre opposé reste jusqu'à présent inconnue, de même que les caractères du ♂.

Minikoi Atoll, « Boulder » zone (L. A. Borradaile).

Je n'ai pas trouvé l'*A. dimorphus* Ortmann parmi les espèces des Maldives et Laquedives. On doit vraisemblablement l'y rencontrer, l'espèce étant connue dans la mer Rouge, depuis Heller et Paulson, à Perim (Dr Jousseaume), Suez, Djibouti (H. Coutière), Dar-ès-



Athanas Minikoensis n. sp. (× 25). — 9, Spécimen ♀ (type); 10, id (vu latéralement); 11, Patte de la 1re paire; 12, *Athanas dimorphus* Ortmann (♀), patte de la 1re paire (× 10).

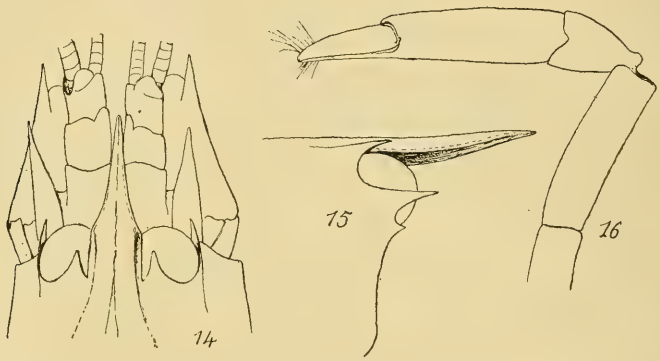
Salaam (Ortmann), en Nouvelle-Calédonie (V. Bougier), aux îles Fiji (J. St. Gardiner). (Cette dernière station, d'après un spécimen ♀ mutilé qu'a bien voulu me communiquer M. Borradaile, et dont la détermination reste incertaine).

Athanas Naifaroensis n. sp.

Cette espèce n'est jusqu'à présent représentée que par des spécimens ♀. Elle rappelle l'*A. Djiboutensis* par quelques caractères

du bord frontal, mais elle est alliée beaucoup plus étroitement, par la forme des membres, à l'espèce Atlantique et Méditerranéenne *A. nitescens* Leach.

Le rostre (fig. 14) a ses bords parallèles sur le tiers proximal de sa longueur. Il s'étend jusqu'à l'extrémité de l'article antennulaire médian, parfois jusqu'au milieu de l'article distal. Les épines supra-cornéennes sont plus marquées encore que chez l'*A. Djiboutensis* (et à fortiori que chez l'*A. nitescens* où elles sont très faibles), elles ont les 2/3 du diamètre antéro-postérieur de la cornée. L'épine extra-cornéenne, très développée, dépasse longuement le bord de la cornée, alors que l'infra-cornéenne est très petite et



Athanas Naifaroensis n. sp. (× 25). — 14, Spécimen ♀ (type); 15, id. (vu latéralement); 16, Patte de la 1re paire.

assez difficilement visible, son extrémité transparente se confondant avec le bord inférieur sombre de la cornée (fig. 14 et 15).

Le stylocérite s'étend jusqu'à l'extrémité de l'article antennulaire médian.

Les membres de la première paire (chez la ♀) sont presque égaux et semblables (fig. 16). Ils permettent de ranger la nouvelle espèce dans le groupe « *nitescens* » du genre *Athanas*, genre dans lequel les pinces restant étendues en avant du carpe, leur poids est compensé par le raccourcissement du méropodite. (Dans un second groupe « *dimorphus* », au contraire, la pince se repliant dans le méropodite, celui-ci est amené à prendre un développement exagéré. Il en résulte que dans l'une et l'autre disposition, le centre de gravité de l'animal chargé de ses pinces reste sensiblement au même point.)

Chez l'*A. Naifaroensis*, le méropodite est court, convexe en dessus,

concave en dessous sans être engaînant ; le carpe, conique, embrasse l'extrémité proximale du propodite, il a la moitié de la longueur du méropodite.

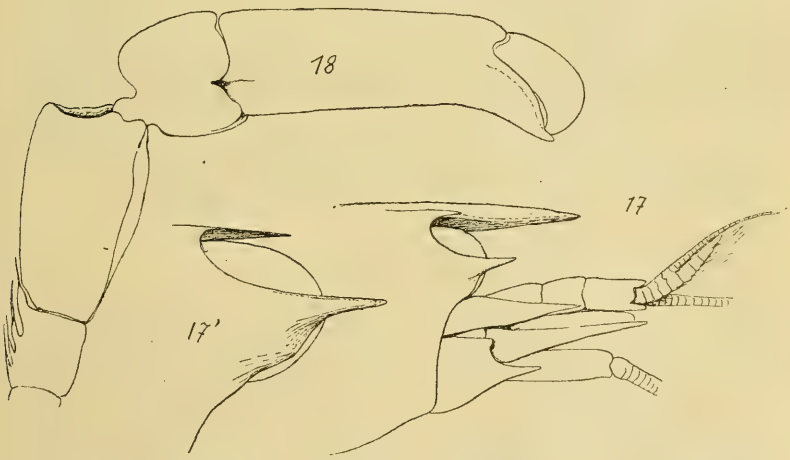
Le propodite (doigts non compris) est un peu plus long que le méropodite sur la plus grande des pinces, un peu plus court sur le membre opposé, de forme légèrement ovoïde. Les doigts, égaux en longueur au carpe, sont clos et inermes (fig. 16).

Bien que la forme des pinces présente d'assez grandes variations chez les ♀ d'*A. nitescens*, il est toujours possible de distinguer les deux espèces par ces appendices. Le carpe est toujours, chez l'*A. nitescens* ♀, plus long et plus étroit, il égale fréquemment en longueur le méropodite.

Naifaro Reef (1 ♀), Hulule Male Atoll (6 ♀) (J. St. Gardiner).

Athanas areteformis n. sp.

Je considère cette nouvelle forme comme étant de valeur spécifique, bien qu'elle soit très voisine de la précédente et qu'elle en dérive manifestement. Elle en diffère (au moins chez les ♀, seules connues entièrement), par un unique caractère, la disparition totale de l'épine infra-cornéenne ou angle externe de l'orbite.



Athanas areteformis n. sp. (× 25). — 17, Spécimen ♂ (type); 17', id. (Détails des saillies cornéennes × 50); 18, Patte de la 1re paire.

Mais ce caractère, qui semble devoir définir une simple variété de l'espèce *Naifaroensis* si l'on considère ces formes isolément, prend une importance singulière lorsqu'on en rapproche les espèces

du genre *Arete*, surtout l'*Arete Borradailei* n. sp., que je décris plus loin. L'absence de l'épine infra-cornéenne définit ici le genre, au même titre que les autres caractères distinctifs d'*Arete*, et en se fortifiant par eux. Rien ne saurait mieux montrer la réalité de la filiation de ces deux groupes de formes, *Athanas* et *Arete*, que cette augmentation subite de valeur que l'on est forcé d'attribuer à un caractère commun lorsqu'on passe d'un groupe à l'autre.

Chez l'*Athanas areteformis* (fig. 17, 17',) les épines supra et extra-cornéennes, cette dernière surtout, paraissent être encore plus développées que dans l'espèce précédente.

L'espace occupé par l'épine infra-cornéenne n'est plus indiqué que par un bord à légère convexité antérieure, sensiblement parallèle à la circonférence de la cornée. Tous les autres caractères des appendices céphaliques sont rigoureusement ceux de l'espèce précédente.

Une seule des pattes de la première paire est présente sur un spécimen ♀. Elle ne diffère aucunement de son homologue chez l'*A. Naifaroensis*.

Quant aux pattes de la première paire chez le ♂, elles sont représentées par une pince détachée, accompagnant l'unique exemplaire ♂ que j'ai étudié, et que l'on peut lui attribuer avec d'autant plus de vraisemblance que cet appendice rappelle de très près son homologue chez l'*A. nitescens*. Le méropodite est court, de forme triquètre, le carpe hémisphérique, embrassant l'extrémité de la paume, le propodite cylindrique et robuste. Le doigt mobile, courbé en demi-cercle, ne porte pas de tubercules, peut-être s'agit-il de la plus petite des deux pinces du spécimen (fig. 18).

Naifaro Reef (1 ♂), Hulule Male Atoll (1 ♀) (J. St. Gardiner).

Arete Borradailei n. sp.

Le genre *Arete* comprenait jusqu'à présent l'unique espèce *A. dorsalis* Stimpson, recueillie près de Hong-Kong. En raison même de la concision de la diagnose de Stimpson, c'est à cette espèce que les auteurs, en particulier de Man, et moi-même, avaient rapporte les spécimens trouvés ailleurs que sur la côte Chinoise. En réalité, il faut distinguer deux expèces dans les spécimens définis *A. dorsalis*, et il est assez délicat de dire à laquelle se rapporte la description du type.

Réduit à ces deux formes, très voisines l'une de l'autre, le genre *Arete* se laissait dériver d'*Athanas* avec facilité et paraissait même être, à partir d'*Athanas nitescens* Leach, la forme la plus voisine

que l'on pût distinguer génériquement. MM. St. Gardiner et Borradaile viennent d'ajouter au genre *Arete* une espèce très remarquable, qui vient se placer exactement à la suite des formes nouvelles d'*Athanas* décrites ci-dessus, mais qui, d'autre part, ressemble assez aux espèces connues d'*Arete* pour que son attribution à ce genre ne fasse aucun doute. C'est, en un mot, un « témoin » des plus irrécusables du processus qui a peu à peu séparé du genre *Athanas* des formes plus évoluées.

Le rostre, les ophtalmopodes, le bord frontal d'*Arete Borradailei* (fig. 19, 20) rappellent étroitement les détails homologues chez l'*Athanas areteformis* (fig. 17) ; mais le rostre s'est rétréci à la base, raccourci jusqu'à l'extrémité de l'article antennulaire médian, et notablement épaissi. Les épines supra-cornéennes ont pris un développement considérable, elles recouvrent de plus en plus les cornées et permettent de comprendre comment, chez l'*Arete dorsalis*, l'extrême pointe de ces épines est seule visible, l'échancrure qui les sépare du rostre s'étant comblée. Je rappelle que la protection de plus en plus grande des ophtalmopodes est un des points les plus saillants de la morphologie comparée des Alpheidæ.

Une seule épine, à base très large, est présente latéralement. En ne considérant que l'*Arete dorsalis*, j'avais pensé, dans un travail antérieur, que cette saillie du bord frontal était l'épine infra-cornéenne, ou angle externe de l'orbite, d'autant plus qu'une très légère convexité, située au-dessus, pouvait s'interpréter comme le vestige de l'épine extra-cornéenne, englobée dans le « rideau » recouvrant peu à peu les ophtalmopodes.

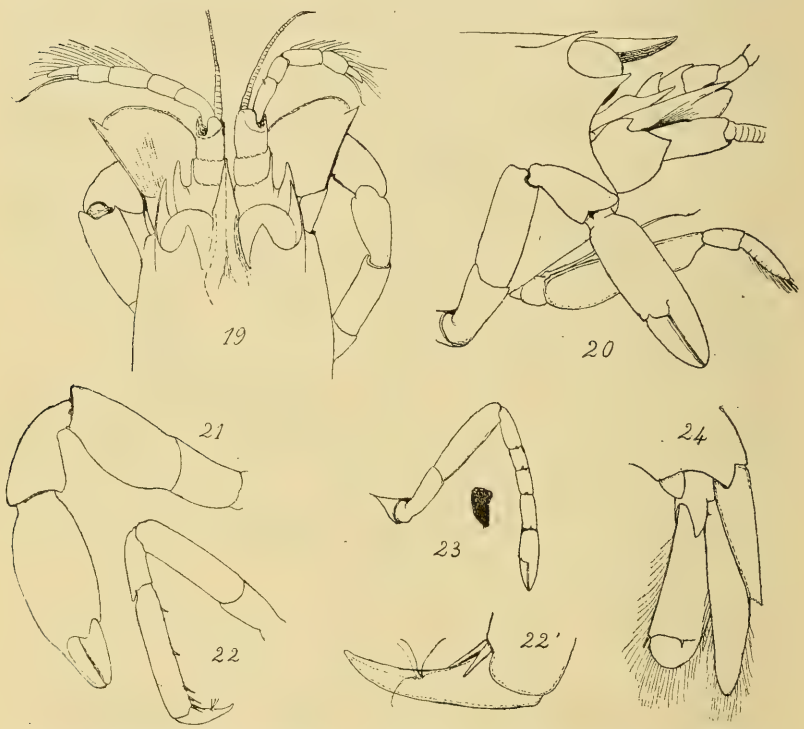
La comparaison d'*Athanas Naifaroensis* (fig. 15) *areteformis* et d'*Arete Borradailei* (fig. 20) prouve que, contre toute vraisemblance, c'est au contraire l'infra-cornéenne qui a graduellement disparu ; à l'épine extra-cornéenne revient bien chez *Arete*, comme tous les Alpheidæ, le principal rôle dans la constitution des voûtes orbitaires, et l'existence de cette formation, considérée comme hautement caractéristique des Alpheidæ, est plus générale encore que je ne l'avais pensé.

Les antennules sont bien celles du genre *Arete*. L'article distal du pédoncule a subi un allongement marqué, le bord de chacun des deux autres articles est crénelé, le stylocérite n'atteint pas l'extrémité de l'article médian. La hampe du fouet externe antennulaire conserve, comme chez *Athanas*, 4 articles, mais ils sont très accrus en dimension, alors que les 2 fouets terminaux sont très courts (fig. 19).

Le scaphocérite est largement arrondi par son bord interne, plus long que le pédoncule antennulaire. Le basicérite est épais et trapu, avec une large épine obtuse latérale.

Les maxillipèdes externes sont aussi ceux d'*Arete*, par leur article médian très élargi et aplati (fig. 20).

Les pattes de la première paire (fig. 20, 21), sont très semblables à celles d'*Athanas Naifaroensis* ♀, *Arete Borradailei* n'étant égale-



Arete Borradailei n. sp. (× 25). — 19, Spécimen ♀ (type); 20, id. (vu latéralement, petite pince de la 1re paire) ; 21, Grande pince de la 1re paire ; 22, Patte de la 3me paire ; 22', Détails du dactylopodite (× 50) ; 23, Patte de la 2me paire ; 24, Uropodes et telson.

ment représenté que par une ♀. Le méropodite est toutefois plus volumineux et plus court, étant seulement 1 fois 1/2 plus large que long ; le doigt mobile, externe chez *Athanas*, est ici à peu près complètement inférieur, comme dans le genre *Betæus*, et s'ouvre de haut en bas.

La deuxième paire, comme chez *Arete*, n'a que 4 articles au

carpe, les deux médians égaux, les deux extrêmes plus longs, surtout l'article proximal (fig. 23).

Les pattes suivantes (fig. 22) sont robustes, le propodite cylindrique est presque inerme (4-5 faibles spinules). Le dactyle est simple (fig. 22') mais porte en son milieu une trace de denticulation, marquée par un groupe de soies, indice du dactyle bifide d'*Arete dorsalis*.

Le telson de l'unique spécimen est mutilé, mais les uropodes allongés, avec leur sympodite armé d'une large pointe mousse, sont bien ceux d'*Arete* (fig. 24).

Les membres thoraciques ne portent aucun épipodite, comme dans le genre *Synalpheus*, alors qu'il y a chez *Arete* 3 épipodites en crochets (sur les appendices *i*, *k*, *l*) et 4 chez *Athanas* (sur *i*, *k*, *l*, *m*). Il existe d'autres exemples d'anomalies comparables chez les Alpheidæ ; *Betæus æquimanus* Dana, *Alpheopsis trispinosus* Stimpson n'ont que 3 épipodites en crochet, alors qu'on en compte 5 dans les autres espèces de ces deux genres. Ce sont là des rudiments de formations branchiales d'un caractère très primitif, dont la disparition s'achève sans règles bien visibles, et l'exemple d'*Arete Borradailei* montre qu'il serait imprudent de fonder sur leur nombre les rapports de parenté de deux groupes de formes, parmi les Eucyphotes.

Par la forme générale du rostre et du bord frontal, le petit nombre d'articles au fouet antennulaire externe, la forme générale des pattes de la première paire, le dactyle simple des peréiopodes 3, 4, 5, l'*Arete Borradailei* appartient encore au genre *Athanas*, surtout si l'on considère que chez les *Athanas Naifaroensis* et *areteformis*, pour passer à la nouvelle espèce, la disparition de l'épine infra-cornéenne est aussi graduelle que possible. Mais les caractères du genre *Arete* s'y montrent bien plus nombreux : épaississement du rostre, protection plus grande des ophtalmopodes, disparition de tout vestige de l'épine infra-cornéenne, élongation de l'article antennulaire distal, réduction des branches terminales du fouet antennulaire externe, doigt mobile des pinces de la première paire s'ouvrant du haut en bas, deuxième paire avec 4 articles au carpe, trace de denticulation des dactyles 3, 4, 5, uropodes allongés.

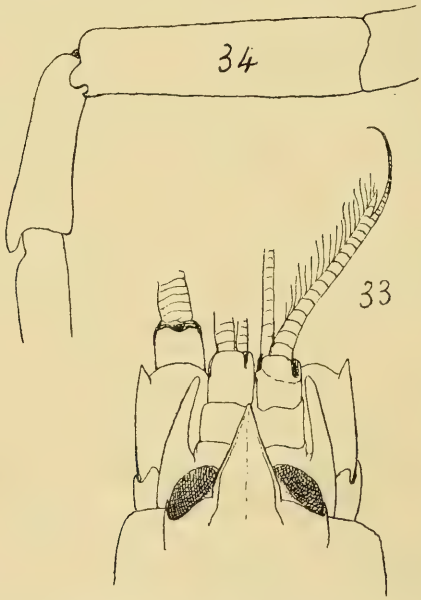
D'autre part, l'*Arete Borradailei* ne se place pas, dans le genre *Arete*, comme un échelon intermédiaire entre *Athanas* et les formes les plus évoluées du genre, telles qu'*Arete dorsalis*, et *Arete Indicus* décrite ci-après. La différenciation, à partir d'*Athanas*, s'est effectuée dans deux directions bien reconnaissables, probablement

même à partir de formes distinctes. Pour les *Arete dorsalis* et *Indicus*, cette direction est jalonnée de façon moins précise, et, si l'on en juge par l'accroissement rapide du nombre des espèces chez *Athanas*, il est permis de penser que ce genre, de même qu'*Arete*, fournira encore des formes instructives pour l'étude de cette filiation.

L'unique exemplaire d'*Arete Borradailei* (♀ portant des œufs) provient de Hulule Male Atoll.

Arete dorsalis var. Indicus n.

Il devient nécessaire de séparer sous ce nom une partie des spécimens désignés jusqu'alors sous le nom de *A. dorsalis* Stimpson. D'après les spécimens que j'ai pu étudier, il y a en effet une différence sensible entre ceux provenant de l'Océan Indien (Djibouti,



Arete dorsalis var. *Pacificus* = *Arete dorsalis* Stimpson. — 33, Spécimen ♂ très adulte, provenant de Samoa (× 15) ; 34, id., Patte de la 3me paire.

Maldives) et ceux provenant du Pacifique, auxquels la diagnose de Stimpson me paraît mieux s'appliquer.

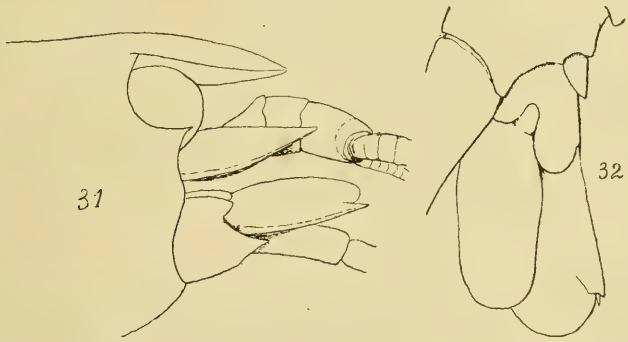
Chez un spécimen de Samoa (Coll. du Muséum), un ♂ très adulte (fig. 33), le rostre atteint seulement l'extrémité de l'article antennu-

laire médian, il est très épais, et très large à la base (seulement 1 fois 1/2 plus long que large), l'unique épine latérale (extra-cornéenne) est peu développée, elle atteint seulement le milieu du diamètre antéro-postérieur de la cornée. La hampe du fouet antennulaire a 17 articles, elle est de faible diamètre. L'épine latérale du scaphocérite est obtuse et courte, l'écaille très large Le carpocérite très volumineux dépasse de beaucoup, en avant, le pédoncule antennulaire.

Sur les maxillipèdes externes, l'article proximal de l'endopodite est très large, l'article distal un peu moins de deux fois aussi long que l'article médian.

Les pattes de la première paire sont absentes. Sur celles de la deuxième paire, le premier segment du carpe (proximal) est un peu plus long que la somme des trois autres, le troisième est le plus court, le quatrième égal à la somme des deux précédents, la pince terminale est aussi longue que les segments 3 et 4 réunis.

Les membres suivants sont cylindriques et lisses. Le méropodite des pattes 3 et 4 (fig. 34) porte inférieurement, à son extrémité



Arete dorsalis var. *Pacificus* = *Arete dorsalis* Stimpson (× 25). — 31, Spécimen ♂ (?) provenant de Nouvelle Calédonie ; 32, Uropodes.

distale, une très faible saillie épineuse, difficile à voir, et qui m'avait échappé jusqu'alors, comme à Stimpson et à de Man. Le propodite porte une douzaine de fines spinules, le dactylopodite est nettement bifide, la griffe surnuméraire étant ventrale.

La patte de la cinquième paire a son méropodite inerme, le propodite porte seulement 7-8 spinules, et une rangée de soies courtes et fortes le long de l'articulation du dactylopodite.

La rame externe de l'uropode a son bord extérieur droit.

Ces caractères sont déjà très modifiés chez deux autres exem-

plaires provenant l'un de l'Amérique centrale (sans indication de versant) l'autre de la Nouvelle-Calédonie.

Ce dernier, très mutilé, répond à la description précédente par les caractères du bord frontal, du telson et des uropodes. Mais le rostre est déjà plus étroit à la base, la hampe du fouet antennulaire n'a plus que 5 articles, le pédoncule antennaire est légèrement plus court que celui des antennules et pas plus volumineux, le segment proximal du carpe et la pince de la deuxième paire sont l'un et l'autre légèrement plus longs que la somme des 3 autres segments du carpe (fig. 31, 32).

Le spécimen provenant de l'Amérique Centrale s'éloigne davantage encore du premier. Le rostre est 2 fois 1/2 aussi long que large, l'épine extra-cornéenne dépasse notablement en avant le bord de la cornée. Les caractères du fouet antennulaire et de l'antenne sont les mêmes que dans l'exemplaire ci-dessus décrit. La pince terminale de la deuxième paire est un peu plus longue que le segment proximal du carpe, égal lui-même à la somme des 3 autres. Sur les pattes 3 et 4, le méropodite est nettement épineux à son bord inférieur. Le bord externe des uropodes est droit, avec une très légère courbure vers le dehors (fig. 30).

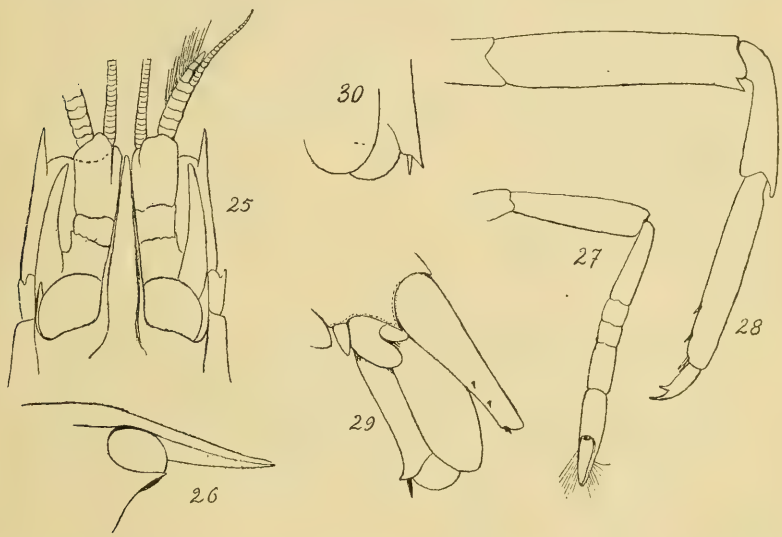
De ce dernier spécimen, on ne peut que difficilement distinguer ceux provenant de Djibouti et des Maldives. Le rostre de ces derniers est en général plus long, s'étendant fréquemment jusqu'à l'extrémité du pédoncule antennulaire, de sorte que le rostre peut être 3 fois aussi long que large. L'épine latérale du scaphocérite est aiguë et longue (fig. 25, 26).

Les pattes des troisième et quatrième paires ont leur méropodite fortement épineux à leur extrémité inférieure distale. Enfin, la différence principale porte sur la rame externe de l'uropode, dont le bord est courbé en dehors de façon très visible (fig. 29), à l'endroit où cette rame porte une fausse articulation transversale, dont la naissance est marquée par une épine mobile.

A ne considérer que les termes extrêmes de cette série de formes, il conviendrait certainement de séparer, comme spécifiquement distincts, les spécimens présentant ce caractère de l'uropode, et l'exemplaire de Samoa, sur lequel on peut relever de nombreuses autres différences. Mais, d'autre part, ce dernier exemplaire est de taille double des autres spécimens les plus grands ; parmi les caractères propres qu'il possède, l'élargissement du rostre, l'atténuation de l'épine extra-cornéenne, le volume du carpocérite, la disparition presque totale de l'épine des méropodites 3 et 4,

peuvent être attribués à son état très adulte, ce sont des signes de sénilité tels que j'en ai relevé fréquemment chez d'autres Crustacés, les Palémons par exemple.

Le très petit nombre d'exemplaires connus d'*Arete* s'opposant à une discussion plus serrée des caractères des formes que je viens d'énumérer, je me bornerai à distinguer parmi elles deux variétés : *A. dorsalis* var. *Pacificus* correspond à l'*Arete dorsalis* Stimpson, trouvée près de Hong-Kong, et comprend les exemplaires ci-dessus décrits de Samoa, de Nouvelle-Calédonie, de l'Amérique centrale.



Arete dorsalis var. *Indicus* n. (× 25). — 25, Spécimen ♂ (cotype) ; 26, id. (vu latéralement) ; 27, Patte de la 2me paire ; 28, Patte de la 3me paire ; 29. Telson et uropodes ; 30, Spécimen ♂ provenant d'Amérique Centrale, détails des uropodes.

La seconde variété « *Indicus* » comprenant les exemplaires assez nombreux que j'ai recueillis à Djibouti, et un spécimen ♂ de Hulule Male Atoll (J. St. Gardiner et Borradaile) diffère de la première surtout par la forme du bord de l'uropode (rame externe), courbé en dehors à son extrémité au lieu d'être rectiligne.

Je n'ai pas parlé, dans les descriptions précédentes, des pattes de la première paire. J'ai pu les examiner sur les deux spécimens de Nouvelle Calédonie et d'Amérique Centrale (var. *Pacificus*) et sur ceux de la variété *Indicus* provenant de Djibouti, sans remarquer de différences sensibles entre les deux variétés.

Les pattes de la première paire sont légèrement asymétriques surtout chez le ♂, où l'une des deux est plus forte et différemment armée. L'ischiopodite est très court, avec une forte épine sur ses deux bords, le méropodite court et épais, sa hauteur maxima étant les 8/10 de sa longueur. Le carpe court, étroit à son articulation proximale, s'élargit rapidement pour embrasser le pourtour de la paume, par un contour trilobé. Sa face inférieure est très aplatie pour s'appliquer contre le méropodite. Les deux pinces présentent, près du carpe, et sur leur bord externe, une forte constriction, marque, — et conséquence — de l'insertion du muscle adducteur du doigt mobile. Sur la plus grande, la paume est 1 fois 1/2 aussi longue que les doigts, 1 fois 1/2 environ aussi longue que haute. Le doigt fixe porte en son milieu un volumineux processus conique.

Sur la plus petite, le rapport entre la longueur de la paume et des doigts est seulement 1,2, il est égal à 1,4 entre la longueur et la hauteur de la paume.

Le doigt fixe porte seulement une arête tranchante, il n'y a pas d'intervalle entre les doigts.

Chez le ♀, les deux pinces sont semblables à la plus petite chez le ♂.

La diagnose de Stimpson, par les proportions du rostre, des antennules et des antennes, des pattes de la première et de la deuxième paires, s'applique très convenablement au spécimen provenant de Nouvelle-Calédonie que j'ai décrit plus haut. L'exemplaire, provenant de la région de Hong-Kong, avait 12^{mm} environ de longueur et devait être une ♀, à en juger par les doigts des pinces de la première paire, joints entre eux.

Quant à l'exemplaire provenant d'Amboine, et rapporté par de Man à l'*A. dorsalis*, il diffère de tous ceux examinés ci-dessus par la pince de la première paire, environ 5 fois aussi longue que large. Le rostre, très court, atteint à peine le bord antérieur du premier article, d'après de Man. Il s'agit vraisemblablement là d'une espèce distincte de l'*A. dorsalis*.

La diagnose de Richters, relative à l'*Athanas Mascarenicus*, est beaucoup trop incomplète pour que l'on puisse en déduire à quelle espèce du genre *Arete* elle se rapporte.

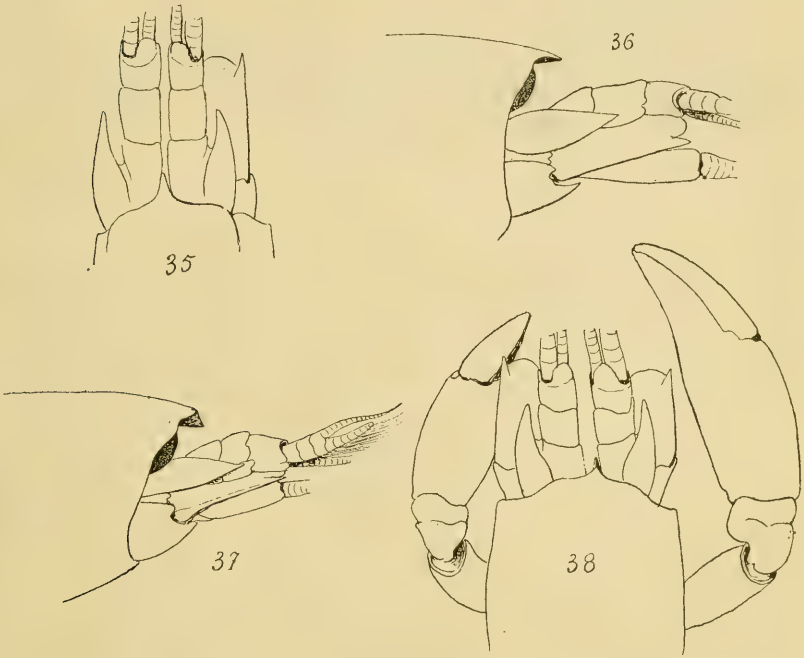
Distribution : Var. *Pacificus* : Hong-Kong (?) (Stimpson), Nouvelle-Calédonie (M. de Beausaq), Samoa, Amérique Centrale (sans indic. de versant), Amboine (??) (de Man). — Var. *Indicus* : Djibouti (H. Coutière), Hulule Male Atoll (MM. Gardiner et Borradaile), Mascareignes (?) (Richters).

Genre **Alpheopsis** H. Coutière

Alpheopsis equalis H. Coutière et var. truncatus, n.

L'*Alpheopsis equalis* est représenté dans la collection des Laquedives et Maldives par trois spécimens, présentant entre eux de légères différences.

L'un d'eux (fig. 35, 36) est tout-à-fait semblable aux représen-



Alpheopsis equalis H. C. (× 25). — 35, Spécimen ♀ ; 36, id. (vu latéralement) ; 37, *A. equalis* var. *Truncatus* n. Spécimen ♂ (type) ; 38, id. (vu latéralement).

tants de l'espèce provenant de la mer Rouge et du Pacifique (Collections du Muséum) ; les deux autres en diffèrent par la forme du rostre et quelques autres points.

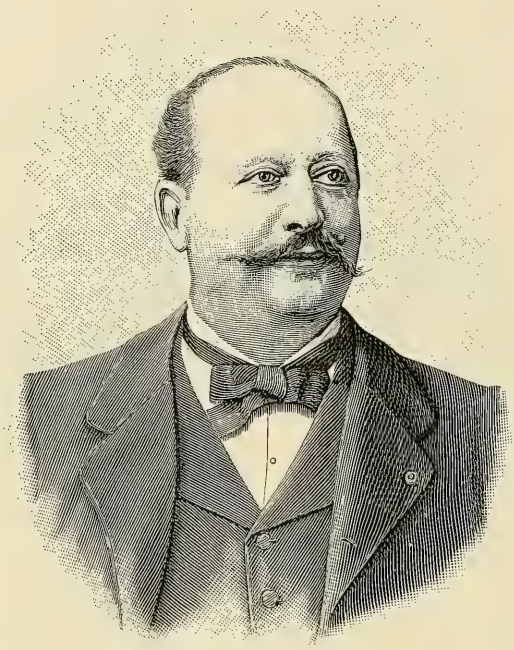
Au lieu d'affecter la forme d'une pointe triangulaire étroite, carénée inférieurement, le rostre est tronqué très près de sa base, et la carène inférieure est elle-même coupée obliquement de haut en bas (fig. 37, 38). Il serait singulier qu'il s'agît d'une malformation, les deux spécimens, un ♂ et une ♀, présentant l'un et l'autre ce caractère.

Les pédoncules antennulaires sont plus larges et plus courts, de même que l'écaille antennaire.

Les pinces de la première paire, qui sont présentes sur le spécimen ♀, sont plus ovoïdes que chez l'*Alpheopsis equalis* type, les doigts sont plus étroits et légèrement plus longs (fig. 38).

Il me paraît nécessaire de distinguer provisoirement ces spécimens sous le nom de la var. *truncatus*. L'extrême rareté d'*Alpheopsis equalis* ne permet pas actuellement de séparer ces deux formes de façon plus complète.

Distribution : *Alpheopsis equalis* H. C. Nouvelle-Calédonie (M. de Bausaq), Perim (Dr Jousseaume), Djibouti (H. Coutière), North Male Atoll (MM. Gardiner et Borradaile), *A. equalis* var. *truncatus* H. C. Goifufahendu Atoll (MM. Gardiner et Borradaile).



H. Fitlol.

Henri FILHOL

NOTICE SUR SON ŒUVRE SCIENTIFIQUE

par **H. NEUVILLE**

Henri Filhol naquit le 11 mai 1843, à Toulouse, où son père, Edouard Filhol, remplissait d'importantes fonctions. Appelé par ses concitoyens à siéger au Conseil Municipal de cette ville, puis investi du titre de Maire, Edouard Filhol n'avait cessé, tout en s'occupant des affaires publiques, de poursuivre une carrière scientifique des plus honorables. Professeur à la Faculté des Sciences, puis Directeur de l'Ecole de Médecine et du Musée d'Histoire naturelle de Toulouse, il contribua, pour une large part, à faire de sa ville natale l'un des centres intellectuels les plus actifs de notre pays.

L'exemple de ce labeur devait influencer de la manière la plus heureuse l'orientation du jeune Henri Filhol, qui, à peine adolescent, collaborait déjà aux travaux de son père, et recevait ainsi une impulsion à laquelle s'ajoutait un goût naturel très vif pour les sciences biologiques. Aussi, dès 1863, Henri Filhol, âgé seulement de vingt ans, put-il commencer à publier d'intéressantes découvertes, dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, au sein de laquelle il devait plus tard prendre place.

Ses premiers travaux, datés de 1863 et 1864, et accomplis en collaboration avec F. Garrigou, actuellement professeur d'Hydrologie à la Faculté de Médecine de Toulouse, avaient trait à l'étude de l'âge de la pierre dans la vallée de Tarascon (Ariège), et y établissaient la contemporanéité de l'Homme et de l'*Ursus spelœus*. Depuis cette époque, Henri Filhol ne cessa de faire, dans le même sens, d'intéressantes découvertes, dont le cours fut à peine retardé par les études médicales qu'il vint accomplir à Paris.

Ce fut en 1873 qu'il couronna ces études par la publication d'une Thèse sur « la sensibilité récurrente dans la main ». Au moment où H. Filhol avait abordé cette question, les conditions dans lesquelles se produisait la sensibilité récurrente étaient des plus énigmatiques. Il en poursuivit l'étude physiologique et clinique, en même temps qu'il en déterminait le substratum anatomique. Ce fut ainsi qu'il put établir qu'après section d'un nerf de la main, la

sensibilité était assurée par des rameaux récurrents, de telle sorte, disait-il, « qu'il existe pour la main, au point de vue du maintien de l'innervation, une disposition qui rappelle celle que l'on note pour les éléments vasculaires. De même qu'une plaie de la radiale ou de la cubitale n'entraîne pas, après elle, l'arrêt de la circulation dans les organes auxquels elle fournit ses rameaux, de même une section de l'un des nerfs de la main ne soustrait pas les parties auxquelles il se distribue à l'influence nerveuse ». Dès lors, la *théorie* de la sensibilité récurrente n'existait plus, elle passait à l'état de *fait*.

Après avoir terminé ses études médicales, Henri Filhol se remit sans tarder aux travaux de Paléontologie et d'Anatomie comparée par lesquels il avait débuté ; et, en 1876, le résultat de ces travaux, devenu considérable, lui fournissait une thèse de Doctorat ès-sciences, spécialement consacrée à l'étude anatomique des fossiles que l'on rencontre dans les phosphorites du Quercy, et, plus spécialement, des Mammifères.

Au cours de ses recherches, Henri Filhol avait exploré les grottes de Lherm, en compagnie de Joannès Chatin, puis les gisements de Caylux, Frégols, Concots, Issel, Sansan, Saint-Gérand-le-Puy, Arthes, etc. Les matériaux qu'il recueillit ainsi lui fournirent de précieux documents pour l'étude comparative du squelette des Mammifères ; pour donner une idée de la quantité d'observations contenues dans son Mémoire sur les phosphorites du Quercy, il suffit de rappeler qu'environ 60 espèces appartenant à des dépôts analogues étaient connues avant Filhol, tandis qu'il en énumère 250, dont 180 n'avaient jamais été décrites.

« Poursuivant ces investigations en zoologiste, Filhol laissait à d'autres le soin de résoudre les questions de paléontologie stratigraphique. Fidèle au plan général qu'il s'était tracé, il s'attachait à reconnaître les éléments entrant dans la constitution des faunes anciennes, à suivre leurs modifications successives, à préciser les changements qu'elles ont subis, enfin à établir leurs relations avec les faunes actuelles » (1).

Ces travaux conduisaient tout naturellement H. Filhol à l'examen des problèmes, toujours si captivants, relatifs à la zoo-géographie. Il était donc tout désigné au choix de l'Académie des sciences, lorsque celle-ci eut à choisir, en 1874, le naturaliste de la mission de l'île Campbell. Cette mission avait pour but d'observer le passage de Vénus sur le Soleil. Pour tirer de ce lointain voyage, en

(1) J. Chatin. Discours prononcé aux obsèques de M. Filhol.

même temps que les observations astronomiques qui étaient son but, tous les résultats qu'il pouvait comporter au point de vue des sciences naturelles, il avait été jugé opportun de lui adjoindre un naturaliste. Ce naturaliste fut H. Filhol.

L'Académie n'eut pas à regretter son choix. Les matériaux zoologiques recueillis par Filhol à l'île Campbell d'abord, puis en Nouvelle-Zélande, à l'île Stewart, aux Fidji, et en Nouvelle-Calédonie, constituent une ample moisson de types nouveaux, appartenant aux groupes les plus variés.

L'homme se montra, pendant ce voyage, aussi riche de qualités privées que le naturaliste l'était de zèle scientifique. « C'est à l'île Campbell, dit M. Bouquet de la Grye (1), que se cimenta notre amitié dans un contact de tous les jours, de toutes les heures, dans une camaraderie resserrée par des événements qui furent quelquefois douloureux. J'ai pu alors juger que l'homme pouvait être classé parmi les meilleurs, et que son cœur était à la hauteur de sa science. Naturaliste, il travaillait avec un zèle infatigable, et à mes reproches, craignant pour sa santé de cet excès de travail, il me répondait en riant : « On ne vient pas deux fois à l'île Campbell. Médecin, il sauva véritablement la vie à un de nos matelots atteint de fièvre typhoïde. En Nouvelle-Zélande, aux îles Viti, car il voulut prolonger longuement sa mission, son zèle fut pareil ; mais malheureusement dans ces dernières stations, il contracta des fièvres dont il se ressentit toute sa vie ».

A cette époque, dit encore M. Bouquet de la Grye, sa science en paléontologie était déjà si sûre que, dans une visite au Muséum de Sydney, il pouvait noter des erreurs de classification, si bien que le directeur étonné le saluait comme un maître.

On connaît le résultat malheureux auquel devait aboutir, pour la partie astronomique, la Mission de l'île Campbell. Au moment où le contact entre les deux planètes allait se produire « un nuage épais survint ; il dura plus d'un quart d'heure. Une éclaircie se produisit ensuite, lorsque Vénus était à moitié engagée dans le disque du Soleil... Malheureusement, cette éclaircie ne dura que vingt secondes, le temps de prendre une double distance au bord interne. Puis ce fut fini, les bandes de brume s'épaissirent et malgré l'enlèvement de la couche d'argent du grand objectif, il fut impossible, jusqu'à la fin du passage, d'apercevoir le disque du Soleil. »

« Le soir, ajoute M. Bouquet de la Grye, nous étions démoralisés

(1) Discours prononcé aux obsèques de M. Filhol.

Deux ans de préoccupation, un an de travail, et beaucoup d'argent perdu, tel était le premier bilan qui nous apparaissait. Il fallait, pourtant, s'incliner devant la fortune, en souhaitant qu'ailleurs elle eût été plus favorable aux observateurs. La première secousse passée, il nous restait trop de travail pour avoir le temps de penser à notre échec..., tout, du reste, fut conduit avec autant de soins que si nous avions eu la joie dans le cœur. »

Les résultats exceptionnellement importants des recherches zoologiques de Filhol étaient bien faits pour atténuer l'amertume de cet échec. Ces recherches s'accomplissaient, cependant, dans des conditions particulièrement pénibles. Sur cet ilot inhospitalier « offrant une apparence de verdure, des apparences de gazon, et en réalité de l'eau et de la tourbe » la récolte et la préparation des collections devenaient fort difficile. Henri Filhol et ses deux hommes rentraient souvent, portant « plus de cinquante kilogrammes de peaux de Phoques, des oiseaux vivants, des plantes et des pierres ; tous trois avaient dormi dans la tourbe, passé dans un chemin nouveau, impossible ; tous revenaient endoloris ; c'était pourtant des caractères durement trempés ; mais aussi les vêtements l'étaient par trop. » (1)

Au retour de la mission, les collections recueillies par Henri Filhol furent réunies au Muséum, en une exposition dont la mémoire est restée vivace.

« Parmi mes premiers souvenirs de Professeur au Muséum, dit M. Edmond Perrier (2), demeure encore vivant celui du visage de son vieux père, extasié devant les magnifiques collections rapportées de si loin par ce fils unique, et dont l'exposition, dans le cadre pittoresque de notre orangerie, était illuminée ce jour-là par un radieux soleil de printemps. Henri Filhol le guidait, plein de jeunesse et d'espérances qui se sont heureusement réalisées, portant pour la première fois le ruban de Chevalier de la Légion d'honneur si bien conquis, et qu'il ne devait échanger contre la rosette qu'un quart de siècle plus tard.

« La même année, le jeune voyageur était attaché à la Faculté des sciences de Toulouse... Cependant ses maîtres lui réservaient d'autres destinées. A peine revenu de mission, Henri Filhol avait repris ses belles études sur les Mammifères fossiles de France, et s'était placé en bon rang parmi les paléontologistes... La description des collections recueillies par lui dans les îles australes le

(1) Bouquet de la Grye, *loc. cit.*

(2) Ed. Perrier. Discours prononcé aux obsèques de M. H. Filhol.

classa bientôt non moins favorablement parmi les zoologistes. Aussi quand fut organisée, en 1883, la grande campagne d'exploration des fonds des mers que devait faire le *Talisman*, Alphonse Milne-Edwards le fit nommer Membre de la commission scientifique chargée de diriger ses dragages. Ce fut lui qui recueillit cette belle série d'éponges au squelette d'opale qui cause tant de surprises aux visiteurs des galeries du Muséum. »

Au retour de la campagne du *Talisman*, Henri Filhol s'attacha définitivement au Muséum, abandonnant son titre de Professeur titulaire à la Faculté des sciences de Toulouse, pour remplir les modestes fonctions de sous-directeur d'un Laboratoire de l'Ecole pratique des Hautes Etudes, rattaché à celui d'A. Milne-Edwards.

Pendant ce temps, il continuait l'étude des matériaux recueillis au cours de ses lointaines explorations, ou lors de recherches faites en France, dans divers gisements de fossiles. Il se classait ainsi de plus en plus parmi les savants de tout premier ordre, et lorsque la mort de Georges Pouchet rendit vacante la chaire d'Anatomie comparée du Muséum (1894), un vote unanime de l'Assemblée des Professeurs de cet établissement l'investit de cette chaire. Peu de temps après, il était nommé membre de l'Institut, puis membre de l'Académie de Médecine.

« Les travaux d'Henri Filhol, dit M. Pettit dans la notice si intéressante qu'il a consacrée à notre commun Maître (1), ont trait à l'Anatomie comparée, à la Zoologie générale et à l'Anthropologie, et sont basés tout à la fois sur l'étude des faunes fossiles et actuelles.

« Dans ses recherches, l'auteur s'est guidé constamment sur le principe suivant : à son sens le squelette d'un être fossile doit fournir des renseignements aussi précis que celui d'un animal de la création présente ; par conséquent aux indications ainsi acquises est attachée une valeur égale au point de vue de la recherche des lois qui ont présidé à l'évolution du monde animal.

« Dès lors toutes les variations qu'on pourra constater chez les êtres fossiles constituent autant de documents directement utilisables pour nos conceptions sur l'origine des espèces. Toutes les études de Filhol ont abouti à la confirmation de ces conjectures ; aussi lui est-on redevable de faits nombreux qu'auraient toujours ignorés les Anatomistes qui se seraient limités à l'étude des animaux de l'époque actuelle ».

(1) A. Pettit. Le Professeur Henri Filhol. *Bull. de la Société d'Histoire Naturelle d'Autun*. T. XV, 1902.

Parmi ces faits, signalons notamment ceux qui sont relatifs à la variation des formules dentaires.

Celles-ci, loin d'être des caractéristiques immuables dans chaque groupe, se transforment assez rapidement, et l'étude de ces transformations amena Filhol à la découverte des liens de parenté qui unissent les Carnassiers et les Insectivores, dont les dents eurent au début, d'étroites analogies. Ses observations sur l'évolution du système dentaire des Herbivores ne sont pas moins importantes.

D'autre part, les études qu'il fit, à l'île Campbell, sur l'Anatomie des Manchots, montrèrent que, loin d'avoir une phylogénie spéciale, ces oiseaux ont simplement subi une adaptation qui les a amenés au type si singulier qu'ils réalisent aujourd'hui.

Les travaux de Filhol jettent ainsi une vive lumière sur le problème de la variation des espèces.

Dans ses dernières années, malgré les charges écrasantes que lui créaient sa nomination à la Chaire d'Anatomie comparée du Muséum, il travaillait encore à une Monographie des Lémuriens, destinée à prendre place dans la célèbre Histoire naturelle de Madagascar publiée par les soins d'un autre illustre Philomathe : M. Alfred Grandidier. La mort vint l'interrompre au milieu de ce travail qui, heureusement pour la science, ne restera pas inachevé, M. Guillaume Grandidier ayant entrepris de le terminer.

A côté de la place élevée conquise par Henri Filhol dans le domaine des sciences pures, il est nécessaire de mentionner le rôle important qu'il tient, au Muséum, dans l'histoire du service d'Anatomie comparée. Ce fut dans un moment tout particulièrement critique qu'il fut chargé de ce service. De nouvelles galeries s'élevaient alors pour recevoir, entre autres collections, celles d'Anatomie comparée, et Filhol débutait ainsi par la lourde tâche de réorganiser toute la Muséologie de cet important service. Il n'est pas sans intérêt de rappeler les conditions dans lesquelles il héritait de cette charge.

Son prédécesseur : Georges Pouchet, avait été nommé Professeur à une époque (1879) où la réorganisation des Galeries d'Anatomie comparée s'imposait déjà ; dès le début de son Professorat, il avait envisagé l'éventualité de cette réorganisation, et l'avait, de bonne heure, préparée. C'est dans ce but qu'il avait parcouru tous les centres universitaires d'Allemagne, y étudiant spécialement les collections d'Anatomie comparée, et rapportant de ce voyage de précieuses observations consignées dans un Mémoire qui, à l'heure

actuelle, reste encore du plus haut intérêt (1). Jusqu'à sa mort, survenue prématurément en 1894, Georges Pouchet n'avait cessé de se préoccuper de cette réinstallation des collections confiées à ses soins ; mais imparfaitement secondé dans ce sens, il n'avait pas tardé à concentrer ses efforts sur le côté purement scientifique de son service, et, notamment, sur l'organisation d'un enseignement pratique d'Histologie comparée. Il s'était toujours beaucoup occupé de cette science, la plus précieuse auxiliaire de l'Anatomie comparée, dont elle arrive même à faire partie intégrante, et avait groupé autour de lui, d'abord dans un Laboratoire privé, puis au Muséum, toute une pléiade d'histologistes dont beaucoup se sont fait un nom envié dans la science.

Un grand nombre de pièces du plus haut intérêt vinrent, sous le professorat de Georges Pouchet, et par ses soins directs, enrichir les collections d'Anatomie comparée ; mais l'accueil fait à ces pièces par le personnel chargé de leur conservation consista trop souvent en une bocalisation hâtive et incroyablement grossière, dont les exemples subsistaient encore il y a peu de temps.

Les galeries, enfin, tombaient en ruines.

Le mode d'aménagement de ces anciennes galeries est encore présent à l'esprit du plus grand nombre. Fondées par Cuvier, il y a un siècle, et installées dès le début dans un local peu approprié, les collections d'Anatomie comparée n'avaient pu, dans la suite, malgré les efforts des différents Professeurs à qui la charge en fut confiée, se développer dans un cadre digne d'elles et en rapport avec les exigences multiples d'une classification scientifique. Ce local comprenait, au rez-de-chaussée, deux salles symétriques, assez exiguës, renfermant les squelettes des grands mammifères, et, au premier étage, plusieurs petites salles, se développant au-dessus des précédentes, et renfermant, outre des préparations squelettiques qui n'avaient pu trouver place en bas, les pièces splanchnologiques. Les conditions générales d'installation de toutes ces collections étaient des plus primitives ; souvent même, pour l'ostéologie aussi bien que pour la splanchnologie, les injures du temps les avaient rendues inutilisables. L'étudiant, venu dans les galeries d'Anatomie pour s'initier à l'étude d'une science dont les débuts surtout sont à bon droit réputés difficiles, renonçait le plus souvent à suivre, dans de semblables conditions, l'histoire des

(1) Georges Pouchet. Rapport sur une mission en Allemagne pour étudier les collections d'Anatomie comparée. *Archives des Missions scientifiques et littéraires*, 3e série. T. VII, 1881.

organes ou des systèmes sur lesquels une étude théorique ne pouvait le renseigner suffisamment.

C'était donc une besogne écrasante que de constituer avec des matériaux aussi précaires, bien que riches dans dans leur ensemble, un Musée dont il fallait s'efforcer de faire l'égal des plus illustres Musées similaires d'Europe. Henri Filhol entreprit cette besogne avec un tel courage et une telle compétence scientifique que le succès dépassa toutes les espérances.

Il se mit à l'œuvre dès le premier jour de son Professorat, n'hésitant pas à rompre la série, jusqu'alors ininterrompue, de ses travaux scientifiques personnels, pour descendre lui-même dans les plus petits détails de la préparation matérielle des collections, et pour en diriger l'exécution. Je me trouvais déjà, à cette époque, au Laboratoire d'Anatomie comparée, et les conditions dans lesquelles s'effectuèrent les débuts de cette réfection générale resteront longtemps présentes à ma mémoire.

M. Filhol nous fit commencer par la révision des pièces tératologiques. La richesse de cette partie des collections est considérable ; la plupart des types étudiés par I. Geoffroy St-Hilaire, sinon tous, y figurent ; mais il aurait fallu une perspicacité rare, à une personne non prévenue, pour qu'elle se doutât autrefois de cette valeur. Entassés dans les armoires obscures, des bocaux aux formes bizarres, les uns ridiculement grands pour les pièces qu'ils contenaient, les autres si exactement remplis qu'il était impossible de discerner leur contenu, renfermaient cette précieuse collection. L'apparence naturellement macabre des pièces tératologiques devenait, dans ces conditions, réellement horrible, et la vue de tous ces fœtus monstrueux, nageant dans leurs bocaux ou comprimés par un verre trop étroit, évoquait, plutôt qu'une idée de comparaison scientifique et de classification, celle d'une sorte de musée des horreurs.

Il s'agissait de mettre en évidence la valeur et les caractéristiques scientifiques de tous ces spécimens, et d'atténuer le plus possible ce qu'ils peuvent avoir, pour la foule tout au moins, de trop hideux. Des moyens fort simples permettaient de réaliser ces desiderata ; il suffisait, au total, de choisir des bocaux appropriés à leur destination, et d'obtenir du personnel qu'il mît un peu de zèle, de goût et d'esprit scientifique, au travail de réfection qui lui incombait. Henri Filhol, dans cette occurrence, dut compter avec la force de résistance d'habitudes routinières ancrées depuis un quart de siècle, et dont les manifestations aggravèrent maintes fois les difficultés

de sa tâche. Cependant, grâce au tact et au doigté avec lesquels il savait diriger son personnel, il arriva, pour les pièces tératologiques comme pour le reste, à remettre tout en œuvre, d'après des procédés nouveaux dont les visiteurs des galeries actuelles peuvent apprécier le mérite.

Le surmenage excessif que s'imposa H. Filhol pour diriger la réfection des collections, et leur installation méthodique dans de nouveaux bâtiments, n'était pas sans avoir une influence néfaste sur sa santé. Cependant, malgré la fatigue, arrivant le premier et partant le dernier, il ne cessa peut-être pas un seul jour de se mêler directement aux travaux, souvent pénibles, qui se poursuivaient à la fois au Laboratoire et dans les galeries en construction. Ouvertes alors à tous les vents, celles-ci étaient à certains jours véritablement inhabitables, et les ouvriers qui s'y trouvaient occupés au montage des grands squelettes avaient recours à mille ruses pour abandonner leur travail ; Filhol y passait cependant des journées entières, n'en sortant que pour venir se rendre compte de l'état des travaux accomplis au Laboratoire, situé à quelque distance de là.

Le succès devait couronner ses efforts. Les nombreux savants qui ont visité les nouvelles galeries d'Anatomie comparée du Muséum ont été unanimes à reconnaître et la haute valeur du plan d'après lequel sont distribuées les collections, et celle des procédés employés pour leur présentation. J'ai entendu des personnes dont la compétence est indiscutable les placer au premier rang des galeries similaires. Inaugurées depuis 1898, elles sont maintenant trop connues pour que je veuille les décrire.

Il n'est personne qui n'ait remarqué et admiré le nouveau montage des squelettes. Tandis que ceux-ci étaient autrefois supportés par de lourdes armatures de fer, souvent très compliquées, plaçant l'animal dans une position des moins naturelles, et ne donnant pas la moindre idée du jeu de ses articulations et de son équilibre, ces squelettes sont maintenant montés d'après des procédés entièrement nouveaux, inspirés exclusivement par le respect de l'attitude propre à chaque animal. Celui-ci, étant placé lors du montage dans une de ses attitudes normales, reçoit son point d'appui d'un support unique, formé d'une tige perpendiculaire à la colonne vertébrale, et se divisant, au niveau de celle-ci, en deux branches qui la suivent de manière à soutenir, l'une la partie antérieure, l'autre la partie postérieure, du rachis. Les os des membres sont enfin directement articulés les uns avec les autres, suivant une allure natu-

relle. Cette suppression des charpentes compliquées ne réalise pas seulement un progrès au point de vue de l'esthétique générale des collections : son principal avantage réside dans la facilité avec laquelle chacune des pièces du squelette peut être vue et étudiée ; les artistes animaliers notamment, qui viennent en si grand nombre s'initier dans les galeries du Muséum à l'étude de l'anatomie, apprécient tout particulièrement ces nouveaux procédés, dus à H. Filhol.

Dans la partie splanchnologique, les perfectionnements réalisés à l'instigation de Filhol n'ont pas été moins considérables. La plupart des anciennes préparations ont été remontées à nouveau ; chacune de leurs parties a été étiquetée, de telle sorte que ces préparations représentent maintenant autant de *planches* anatomiques naturelles, infiniment plus instructives que celles des manuels. Cet étiquetage, dont le mode d'exécution est dû à l'un des aides de M. Filhol, M. le Dr A. Pettit, a été également appliqué aux pièces ostéologiques.

Enfin, certains organes peu étudiés, ou peu facilement préparables, ne figuraient pour ainsi dire pas dans l'ancien Musée. Telles sont les glandes vasculaires sanguines, dont une série remarquable fut préparée pour les nouvelles galeries par M. Pettit. Tels sont encore les poumons, conservés maintenant au moyen d'injections intra-pulmonaires solidifiables, qui les conservent à l'état désiré d'extension ou de rétraction ; commencée seulement en janvier 1895, cette nouvelle collection de poumons devint rapidement assez complète, et l'expérience a prouvé que la durée des pièces ainsi préparées est très facilement assurée par quelques soins matériels.

Une fois les collections ainsi installées, il restait encore, à certains points de vue, beaucoup à faire. Il était de toute urgence de procéder à leur inventaire méthodique, inventaire destiné à permettre, dans la suite, la publication d'un catalogue scientifique comparable à ceux du British Museum, et dont l'utilité, évidente pour le public instruit, l'est surtout pour les professionnels de la science. Ce travail d'inventaire et de catalogage n'était pas nécessaire seulement aux galeries. Le laboratoire d'anatomie possède, lui aussi, une précieuse collection de matériaux d'étude, non élaborés, provenant soit de la Ménagerie, soit des trop rares voyageurs auxquels une instruction technique suffisante permet de s'intéresser aux choses de l'anatomie. Ces matériaux servent journellement, soit aux travaux ordinaires du service, soit aux recher-

ches que viennent poursuivre au Muséum de nombreux naturalistes. Dans ces collections de matériaux d'études, la nécessité d'une révision s'imposait également. H. Filhol résolut de mener de front ces deux inventaires, dont il surveilla simultanément l'exécution.

Des circonstances imprévues vinrent contrarier ce travail. Les collections du Laboratoire, pour la révision desquelles H. Filhol était secondé par M. Pettit, furent gravement compromises par l'inondation subite des caves où elles étaient déposées ; cette inondation était due à la rupture de l'égout, qui, à cet endroit, canalise l'ancienne rivière de la Bièvre. Les eaux d'inondation, qui n'étaient autres que des eaux d'égout, vaseuses et putrides, et au milieu desquelles nageaient les pièces d'étude, se décomposèrent rapidement (on était alors en plein été), et le sauvetage de ces pièces, qui ne pouvait être fait qu'avec les plus grandes précautions, fut extrêmement pénible. Malgré l'altération de sa santé, Henri Filhol tint à diriger en personne ce sauvetage ; aussi, à la suite de son séjour dans l'air méphitique des caves inondées, fut-il atteint d'une sorte d'intoxication assez grave.

Pour la révision des pièces de la galerie, H. Filhol avait bien voulu m'adjoindre à lui, et ce sera pour moi un souvenir inoubliable que celui des longues journées passées ainsi avec le Maître, au milieu de ces collections qu'il connaissait si bien, et parmi lesquelles les matériaux qu'il avait recueillis lui-même, au cours de ses voyages, tiennent une place si honorable. Cette révision avait débuté par les pièces ostéologiques ; le plus souvent l'examen de ces pièces suggérait à H. Filhol des remarques originales, hautement instructives, et les heures s'écoulaient, trop courtes pour le disciple qui profitait ainsi d'une occasion unique de s'instruire, mais trop longues, malheureusement, pour Henri Filhol, dont la santé s'accommodait mal de ce nouveau surmenage. Arrivé aux galeries de grand matin, Filhol n'en sortait qu'à la fin du jour, et ces longues séances de travail n'étaient interrompues que par le temps strictement nécessaire pour aller prendre hâtivement un déjeuner sommaire dans un établissement du voisinage.

Il ne put achever entièrement cette nouvelle entreprise. Son cours, professé pendant le semestre d'hiver, et à la préparation duquel il apportait un soin extrême, acheva de l'épuiser. « Je viens, disait-il à l'Institut le 3 mars 1902, de terminer mon cours ; j'en suis très fatigué, je me sens mal ; j'ai hâte d'aller me reposer à la campagne ! Le lendemain il vint encore à l'Académie de médecine.

Dans la soirée, il s'endormit pour ne plus se réveiller qu'à demi, et dans une sorte de rêve. Le rêve même est aujourd'hui fini pour toujours » (1).

Elu membre de la Société Philomathique le 12 janvier 1876, Filhol n'avait cessé d'enrichir notre Bulletin du résultat de ses travaux. Les qualités de l'homme de science, aussi bien que celles de l'homme privé, lui avaient acquis toutes les sympathies, aussi fut-il élu Président, à l'unanimité, pour l'année 1899. De l'avis de tous, il fut l'un des principaux artisans du relèvement de notre vieille société.

H. Filhol groupa autour de lui de nombreux élèves, d'abord dans le Laboratoire de l'Ecole pratique des Hautes-Etudes, dont il avait été le sous-directeur, puis dans son service d'Anatomie comparée. Depuis quelques années, il avait rétabli dans ce service une section d'Histologie comparée (2), confiée à M. Pettit, et dont la vitalité devait rapidement accroître le courant d'activité scientifique du Laboratoire. Tous ceux qui eurent à profiter de l'enseignement et de la bienveillance du Maître en gardent le souvenir ému, et contribueront à maintenir sa Mémoire bien vivante.

En résumé, H. Filhol s'en est allé après avoir rempli une carrière scientifique des plus brillantes. Son œuvre, comme savant et comme administrateur d'une importante collection nationale, compte parmi les plus durables. Enfin son souvenir reste vivace dans l'esprit et dans le cœur de tous ceux qui furent appelés à l'approcher. Nous osons espérer que le respect et la vénération dont sa Mémoire reste ainsi entourée pourront contribuer à atténuer la douleur dans laquelle se trouve plongée la famille du regretté Maître Henri Filhol.

Titres et distinctions de Henri FILHOL (3).

Titres scientifiques.

Docteur en médecine, Faculté de Paris (1873).

Docteur ès-sciences naturelles, Faculté de Paris (1876).

(1) Edmond Perrier, *loc. cit.*

(2) L'existence de cette section, créée par G. Pouchet, et à laquelle je fais allusion ci-dessus, avait été momentanément suspendue à la mort de celui-ci.

(3) Henri Filhol a publié, en 1896, à l'appui de sa candidature à l'Académie des Sciences, une énumération complète et détaillée de ses nombreux travaux. Des listes de ceux-ci ont été publiées dans les Nouvelles archives du Muséum (1902), et dans le Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Autun (T. XV. 1902).

Enseignement.

Maître de conférences de Zoologie à la Faculté des Sciences de Toulouse (1878).

Chargé du cours de Zoologie à la Faculté des Sciences de Toulouse (1878).

Professeur titulaire de Zoologie à la Faculté des Sciences de Toulouse (1879).

Sous-directeur du Laboratoire de Zoologie anatomique (Hautes-Études), au Muséum d'Histoire naturelle de Paris (1885).

Professeur d'Anatomie comparée au Muséum d'Histoire naturelle de Paris (1894).

Missions scientifiques.

Passage de Vénus sur le Soleil (1875).

Mission à l'île Campbell, en Nouvelle Zélande, en Océanie (îles Fidji, Nouvelle-Calédonie) (1876).

Membre de la Commission des dragages sous-marins (Expédition du *Talisman*) (1883).

Distinctions honorifiques.

Lauréat de l'Académie des Sciences, prix Delalande-Guérineau (1878) ; grand prix des Sciences physiques et naturelles (1879) ; prix Petit d'Ormoy (1887).

Président de la Société Zoologique de France (1898).

Président de la Société Philomathique de Paris (1899).

Membre de l'Académie des Sciences (1896).

Membre de l'Académie de Médecine (1897).

Chevalier de la Légion d'honneur (1876).

Officier de la Légion d'honneur (1898).

Commandeur de l'ordre de Saint-Charles (1901).

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE PARIS

FONDÉE EN 1788

NEUVIÈME SÉRIE. — TOME V

Nos 3-4

1902-1903

PARIS

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

A LA SORBONNE

1903

Le Secrétaire-Gérant :

H. COUTIÈRE.

Le Bulletin paraît par livraisons trimestrielles.

Smithsonian Inst.
JUN 24 1907
184420

COMPOSITION DU BUREAU POUR 1904

Président : M. Dongier, 82, rue Claude-Bernard, Paris, Ve.

Vice-Président : M. E.-L. Bouvier, 39, rue Claude-Bernard, Paris, Ve.

Archiviste : M. Henneguy, 9, rue Thénard, Paris, Ve.

Secrétaire des publications : M. H. Coutière, 12, rue Notre-Dame des-Champs, Paris, VIe.

Vice-Secrétaire des publications : M. Henri Neuville, 55, rue de Buffon, Paris, Ve.

Secrétaire des séances : M. Lécaillon, 28, rue Berthollet, Paris, Ve.

Vice-Secrétaire des séances : M. Leau, 6, rue Vavin, Paris, VIe.

Trésorier : M. Et. Rabaud, 104, rue d'Assas, Paris, Ve.

La Société Philomathique de Paris se réunit les 2e et 4e Samedis de chaque mois, à 8 h. 1/2, à la Sorbonne (salle de travail des Étudiants).

Les membres de la Société ont le droit d'emprunter des livres à la Bibliothèque de l'Université. Ils ont également droit, sur leur demande, à 50 tirages à part gratuits des Mémoires qu'ils publient dans le Bulletin.

Pour le paiement des cotisations et l'achat des publications, s'adresser à M. Reyckaert, Hôtel des Sociétés Savantes, 28, rue Serpente, Paris, VIe

---

RECHERCHES D'ANATOMIE COMPARÉE SUR LE CŒUR DES VERTÉBRÉS

EN PARTICULIER

DES MONOTRÈMES ET DES MARSUPIAUX

par G. DEVEZ

(Planches I a IV).

INTRODUCTION

Plusieurs séjours prolongés que j'ai faits en Guyane depuis 1891 m'ont permis d'étudier sur place un nombre assez considérable de *Didelphys*. De retour à Paris, j'entrepris la bibliographie des Marsupiaux. Je fus surpris de ne trouver parmi les nombreux travaux se rapportant à ces animaux, que quelques publications allemandes et anglaises sur l'anatomie du cœur. Dans le même ordre d'idées, les Monotrèmes étaient encore moins étudiés, et je n'ai rencontré dans toute la littérature scientifique, jusqu'à ce jour, concernant la valvule droite de l'Echidné par exemple, que trois figures d'un même cœur données par Lankester en 1883.

Je conçus dès lors le projet de reprendre cette étude d'une façon rationnelle et systématique. La connaissance approfondie du cœur des Mammifères inférieurs en effet ne peut que nous aider à établir quelle place il convient de réserver dans la série aux Monotrèmes et aux Marsupiaux. On sent toute l'importance que de tels renseignements peuvent présenter dans la solution du passionnant problème de l'origine des Mammifères.

Cette question, qui est revenue à l'ordre du jour depuis quelques années, sera notablement simplifiée si l'on veut tenir compte des raisons suivantes :

1° Les Monotrèmes et les Marsupiaux sont les plus inférieurs des Mammifères. C'est par eux que doit donc se faire le passage aux classes inférieures ;

2° Les découvertes paléontologiques montrent que ce sont les plus anciens Mammifères connus.

3° Certains ossements fossiles ont des relations si grandes avec ceux des Amphibiens, des Reptiles, des Monotrèmes et des Marsupiaux, qu'il est souvent très difficile de reconnaître auquel de ces quatre groupes ils appartiennent.

4° Le cœur, dans tout animal, est un des organes qui subissent le moins les influences extérieures ou du moins, c'est sur lui que ces influences se manifestent le plus lentement. Nous savons par exemple que le milieu et le genre de vie entraînent l'adaptation à la nage, au vol, et par suite déterminent des variations dans le squelette, l'enveloppe extérieure ; que le mode d'alimentation transforme plus ou moins le système dentaire et le tube digestif, etc. L'appareil circulatoire lui-même, à cause de ses relations avec la périphérie, peut présenter de notables changements, et cela chez une même espèce. L'exemple de *Didelphys virginiana* que je choisis de préférence parce qu'il relève du groupe même des Marsupiaux est des plus démonstratifs à cet égard : Mac Clure, dans un travail récent [**151**] (1), a trouvé la plus grande variété dans l'origine de la veine cave inférieure chez différents individus de cette même espèce : « The mode of origine of the vena cava posterior in « Didelphys was found to be so variable in the twenty six different « individuals examined, that it is quite impossible to assign one « mode of origine for this vessel which may be regarded as typical « for the species »... (p. 441).

D'autre part, la distribution des branches de l'aorte est si variable qu'on ne peut y chercher des caractères de distinction. Parsons a publié l'année dernière [**166**] un travail très intéressant dans lequel il conclut que les divisions de l'aorte sont plus curieuses qu'instructives : « The Marsupialia have many varieties of conformation « and in accordance with this, the arrangement of their aortic branch « is very variable. They show, however, some anomalies which, in « the present state of our knowledge are more curious than instruc- « tive... » (p. 393).

Le cœur, au contraire, organe central peu accessible dont le rôle reste le même et le fonctionnement continu, quelles que soient les circonstances ambiantes, pourvu que ces circonstances soient compatibles avec la vie, se modifie peu dans le cours du temps. En d'autres termes, c'est lui qui doit conserver le plus longtemps, mieux encore que le cerveau peut-être, le cachet d'origine de l'animal. N'est-il pas remarquable de constater avec quelle homo-

(1) Les numéros gras entre crochets [ ] indiquent les numéros correspondants de l'index bibliographique placé à la fin de l'ouvrage.

généité la valvule du cœur droit a gardé sa structure musculaire chez tous les oiseaux ?

C'est ainsi que j'ai été amené à étendre mes recherches dans toute la série des vertébrés ; tâche ardue, mais remplie d'un intérêt spécial, fait du plaisir de retrouver dans les groupes éloignés des caractères qu'on croyait disparus.

Malheureusement, les difficultés matérielles que j'ai rencontrées à la Guyane, ne m'ont pas permis de poursuivre cette étude aussi loin que je l'aurais désiré. D'autre part, à Paris, les cœurs de Monotrèmes et de Marsupiaux sont des matériaux rares et plus d'une fois j'ai dû renoncer à des pièces trop macérées.

Je ne saurais oublier avec quelle sollicitude mon maître vénéré, M. H. de Lacaze-Duthiers, m'avait ouvert les portes de son laboratoire à la Sorbonne. Au Muséum d'Histoire naturelle, j'ai trouvé les plus grandes facilités de travail dans le laboratoire des Hautes études de M. A. Milne-Edwards, et grâce aux matériaux précieux que M. Filhol avait bien voulu mettre à ma disposition. A la mémoire de ces trois maîtres que la Science a perdus je rends ici un pieux hommage de gratitude.

Je remercie M. le professeur Ed. Perrier, Directeur du Muséum, du bienveillant accueil qu'il m'a fait à son laboratoire d'anatomie comparée durant le peu de temps que je viens d'y passer, ainsi que M. le Dr Gervais, sous-directeur du laboratoire, qui m'a permis d'étendre mes recherches, en mettant à ma disposition certains cœurs qui me faisaient défaut.

A mon maître et ami, M. le Dr H. Rieffel, chef des travaux anatomiques de la Faculté de Médecine, je conserve un inaltérable souvenir pour l'aide soutenue qu'il m'a toujours prêtée soit en me facilitant les dissections de cœurs humains, soit en m'expliquant nombre de mémoires allemands.

Je prie M. le professeur J. Chatin d'agréer tous mes remerciements pour ses conseils bienveillants et l'intérêt qu'il a bien voulu accorder à ce modeste travail.

Enfin, je n'oublie aucun de ceux, qui, à un titre quelconque, à Paris comme en Guyane, ont facilité mes recherches, soit en m'aidant de leurs conseils, soit en me procurant des animaux vivants. En particulier, je remercie M. le professeur Bouvier et mon ami le Dr H. Neuville, préparateur au Muséum, du concours qu'ils ont bien voulu me prêter pour la publication de ce Mémoire dans le *Bulletin de la Société philomathique.*

HISTORIQUE

A. Marsupiaux.

En parcourant la Bibliographie des Marsupiaux, il m'a été donné de constater deux faits : 1° Aucun ouvrage français — je ne compte pas les traités étrangers qui ont été traduits en français — ne s'occupe du cœur des Marsupiaux. C'est à peine si Cuvier et Milne-Edwards, dans leurs anatomies comparées, parlent du Kanguroo ; 2° Même dans la littérature étrangère, je n'ai pas rencontré de publication spéciale au genre américain *Didelphys*. Tyson (1), en 1698, se contente de signaler deux ventricules et deux oreillettes au cœur de l'Opossum. Meckel, dans son anatomie comparée, dit seulement qu'il n'a pas trouvé de valvule d'Eustache chez la Sarigue (*D. Virginiana*, probablement).

Owen est le premier auteur qui nous ait donné une description de quelque importance, avec mensuration, du cœur du Dasyure [**8**]. C'est à lui d'ailleurs, il faut le reconnaître, que nous devons la plus grande partie de nos connaissances sur les Marsupiaux et les Monotrèmes. Il décrivit successivement, en effet, en 1836 [**9**], l'anatomie du Wombat, — tandis que Martin [**7**] nous faisait connaître celle du Koala, — et en 1852 celle de *Dendrolagus*. Entre temps, il publiait ses deux travaux les plus importants sur les Marsupiaux : en 1841, l'article « *Marsupialia* » du « *Todd's Cyclopodia* » [**10**] et en 1868 sa remarquable « *Comparative anatomy of Vertebrates* » [**12**].

En 1837 [**35**] King compare la valvule droite du cœur humain à celle de quelques Mammifères et Oiseaux, sans étudier particulièrement les Marsupiaux qu'il classe cependant dans son deuxième groupe (animaux dont les piliers s'insèrent sur la cloison).

En 1841, Owen [**9**] donne les caractères généraux du cœur marsupial, caractères qui feront loi jusqu'à nos jours. Il décrit plus particulièrement le cœur de Kanguroo en 1852 [**10**]. En 1868 [**11**], il résume dans sa « *Comparative anatomy* » les connaissances de l'époque sur le cœur des Marsupiaux. Ce sont ses descriptions que les différents ouvrages d'anatomie comparée publiés depuis reprendront sans nouveau développement.

(1) Tyson, *Carigueya, seu Marsupiale americanum, or the anatomy of an Opossum (Didelphys)*. Phil. Trans. Vol. XX, 1698.

Le magistral recueil de Milne-Edwards, paru en 1858 (tome III) insiste à peine sur le cœur des Marsupiaux.

En 1876, Cuningham [**3**] décrit avec quelques détails les cœurs de *Phalangista vulpina* et *maculata, Dasyurus viverinus*, *Thylacynus cynocephalus* et *Phascogale calura*. Il soutient que la présence des auricules supplémentaires de l'oreillette droite n'est pas un caractère général chez les Marsupiaux, comme l'a avancé Owen.

Forbes [**7**] en 1881 donne une inscription succincte du cœur de Koala qu'il résume ainsi : « The heart is of the usual marsupial type » (p. 187).

En 1886 et 1887, Selenka [**44**] fait une étude méthodique du développement de *Didelphys virginiana*. Le cœur n'existe pas encore chez l'embryon de 2 jours 1/2. Sa double ébauche est nette à la 54me heure.

En 1890, Carl Röse [**40**], dans son mémoire sur l'anatomie du cœur des vertébrés, fait état d'un cœur de *Thylacynus cynocephalus* et d'un cœur de *Wombat*. Il étudie plus particulièrement les sinus veineux. A propos des perforations de la paroi interauriculaire, il cite les préparations d'Opossum (?) (*Didelphys virginiana*) qu'il a vus chez Selenka. Les quelques lignes qu'il consacre au cœur des Marsupiaux n'ajoutent rien aux connaissances précédemment acquises.

Beddard [**1**] en 1895 ne parle du cœur de *Dendrolagus benneti* que pour constater que la valvule auriculo-ventriculaire droite possède quatre piliers musculaires.

Parsons [**12**] en 1896 étudie le cœur de *Petrogale*, et avec Windle [**13**] celui de *Macropus rufus*. Pas de faits nouveaux.

En 1898 [**4**] j'ai montré que les « colonnes modératrices » existaient toujours dans le cœur droit des *Didelphys*.

Enfin récemment [**5**] j'ai donné un résumé de l'architecture du cœur des Marsupiaux.

En somme, les auteurs anglais nous ont fait connaître le cœur de quelques-uns seulement des Marsupiaux australiens. Ils ont surtout insisté sur la valvule du cœur droit qui a toujours été pour eux la partie la plus importante. Les notions anatomiques qui en découlent n'ont rapport qu'au nombre de piliers dont cette valvule se compose et à la constitution membraneuse de cette formation.

Aucun de ces mémoires n'a donné l'étude anatomique systématique du cœur des Marsupiaux au point de vue des homologies.

Lankester [**16**] seul, à propos de l'Ornithorynque, a tenté une homologation de la valvule droite de *Didelphys* (lequel ?) et de *Phascolarctos* sur deux figures non accompagnées de description. La

légende de ces figures, seul renseignement contenu dans ce mémoire des plus intéressants, indique que les deux piliers musculaires dessinés sont les représentants des mêmes formations chez l'homme (?).

B. Monotrèmes.

L'histoire des Monotrèmes est loin d'être connue, et les ouvrages qui en parlent sont peu nombreux.

Meckel [**20**] est le premier auteur qui ait donné une description un peu détaillée dans sa monographie de l'Ornithorhynque parue en 1826. De Blainville [**116**] dans sa thèse de concours cite les travaux parus antérieurement.

Cuvier, dans son *Anatomie comparée*, n'apporte aucun détail nouveau après sa première édition.

Owen [**23**] en 1841, dans l'article « *Monotremata* » du « *Todd's Cyclopedia* », reprend l'exemple de Meckel et décrit le cœur d'Ornithorhynque un peu différemment.

H. Milne-Edwards ne fait que résumer la description de Meckel.

Gegenbaur [**30**] en 1866 étudie assez longuement le cœur d'Ornithorhynque, mais malheureusement ne donne pas de figures. La figure de Meckel étant incompréhensible, il nous faut arriver jusqu'en 1882 pour trouver dans le mémoire de Lankester [**16**] une description plus complète, accompagnée de planches, du cœur d'*Ornithorhynchus*.

L'année suivante, 1883, Lankester reprend le sujet sur de nouveaux spécimens et conclut, contrairement à ce qui était admis jusque là, *que la valvule du cœur droit de l'Ornithorhynque manque de valve septale*. Dans cette même publication, il décrit deux cœurs d'Echidné — ce sont les premiers renseignements que nous trouvons sur le cœur de cet animal dans la littérature scientifique — chez lesquels il ne trouve pas non plus de valve septale.

En 1885 a lieu une polémique entre Lankester et Owen : Lankester et Beddard [**18**] soutiennent que le cœur d'*Aptérix* décrit par Owen en 1841 [**102**] était un cœur d'Ornithorhynque. Owen répond [**24**] en maintenant ses conclusions.

Carl Rose [**40**], en 1890, a examiné un cœur d'Echidné et deux cœurs d'Ornithorhynques. Il y étudie surtout le sinus pulmonaire, la cloison interauriculaire, et se rattache à l'opinion de Lankester, quoique dans ses démonstrations il dit avoir rencontré « des rudiments de valve septale. »

Beddard [**15**], en 1894, a trouvé une valvule *complète* et bien

développée chez Ornithorhynque, contrairement à Lankester. Enfin, j'ai essayé de montrer récemment [**19**] que cette valve septale existait mais qu'elle était peu développée.

D'ailleurs, dans le chapitre spécial se rapportant à l'étude de la valvule droite d'*Ornithorhynchus* et d'*Echidna* je reprendrai en détail ces différentes opinions pour montrer combien nos connaissances sont incomplètes.

C. Cœur des autres Vertébrés.

Il serait trop long de relater ici les nombreux travaux qui ont été publiés sur cette vaste matière. La liste des principaux ouvrages que j'ai consultés est réunie dans l'index bibliographique, placé à la fin de ce travail ; je les analyserai dans le cours de ce Mémoire chaque fois que l'occasion s'en présentera. Je me contenterai dans ce chapitre de citer les plus remarquables ayant trait à l'étude comparée du cœur dans la série des vertébrés. En dehors des traités d'anatomie comparée, Gegenbaur [**30**], Sabatier [**41**] et Carle Röse [**40**] résument l'état de nos connaissances à l'époque de chaque publication. J'ai déjà dit que depuis Carle Röse, c'est-à-dire depuis 1890, aucun ouvrage d'anatomie comparée du cœur n'est mentionné dans la littérature scientifique.

Parmi tous ces travaux, il faut réserver une place toute particulière à la remarquable thèse de Sabatier [**41**]. Par la précision de ses descriptions elle dépasse tout ce qui a été fait dans le même genre. Si dans la partie où il traite de la Philosophie naturelle, le professeur de Montpellier a des idées personnelles sur les homologies, les faits anatomiques eux-mêmes n'ont pas changé depuis 1873, et j'ai eu plus d'une fois l'occasion d'admirer avec quelle patience il les a observés et décrits. Je suis d'autant plus porté à rendre hommage à l'œuvre de Sabatier que des travaux importants, comme ceux de Carle Röse, semblent trop négliger les découvertes du savant français. La disparition progressive du sinus veineux sur laquelle insiste tant Carl Röse, pour ne prendre qu'un exemple, avait été bien longuement étudiée et décrite par Sabatier : l'auteur allemand oublie cependant de rendre à l'auteur français ce qui lui revient.

AVANT-PROPOS

J'ai pu me procurer la plupart des espèces de *Didelphys* de la Guyane et travailler sur place avec des pièces fraîches.

La détermination des *Didelphys* n'est pas facile. Thomas [**179**] et Lydekker [**150**], qui ont écrit les deux meilleurs catalogues des Marsupiaux, avouent qu'ils sont portés à considérer *Didelphys cancrivora* et *Did. Azaræ* comme deux variétés de la même espèce, *Did. Virginiana*. Thomas divise ainsi l'espèce de Linné, *Didelphys marsupialis*, en deux variétés : la var. *typica* qui habite l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud, et la var. *Azaræ* qui est spéciale au Sud du Brésil. La var. *typica* comprendrait *Did. virginiana* de Kerr et *Did. cancrivora* de Gmelin, qui se seraient localisées l'une au Nord (*D. virginiana*) l'autre au Sud (*D. cancrivora*). Or, Buffon (1) séparait déjà le *Crabier* (*D. cancrivora*) de la « Sarigue à oreilles bicolores, ou Sarigue des Illinois » (*D. virginiana*). Allen après avoir passé en revue les espèces Nord-Américaines [**106**], vient dans son dernier mémoire [**107**] de se séparer nettement de Thomas. Pour lui, *Did. marsupialis* (type de Linné) doit être réservé comme type du Mexique, *Did. karnikophaga* (Zimm.) comme type du Nord-Est de l'Amérique du Sud et *Did. virginiana* (Kerr) comme type des Etats-Unis. *Did. insularis* (Allen) doit être séparé, d'après lui, des trois espèces nord précédentes et localisé aux Antilles (Trinidad, Dominique, Grenade, St-Vincent) ; c'est par conséquent le « *Manicou* » de la Martinique.

Sans entrer dans le détail des déterminations, je pense que *Did. cancrivora* doit être une espèce différente de *Did. virginiana*. Quant au *Did. marsupialis insularis* d'Allen, il paraît plus se rapprocher de l'espèce du Nord que de *D. cancrivora*. En tout cas, je ne manquerai pas, dans les descriptions qui vont suivre, de préciser quelle espèce j'ai eue entre les mains.

Le Crabier est vulgairement nommé « *pian* » en Guyane, par opposition au terme *quatre-œil*, que les créoles prononcent « *quat'-ouéï* » et qui sert à désigner toutes les espèces de taille moyenne ou petite à pelage roux, alors même qu'elles n'ont pas au-dessus des yeux

(1) Buffon. Hist. nat. suppl. III. 1776, 272 pl. liv. Cayenne.

les deux taches caractéristiques de *Did. opossum* (Lin.). Les plus petites espèces, — et l'on confond *Did. lepida* avec *Did. murina* — se nomment « rats-palmistes » parce qu'on les rencontre souvent dans les palmiers des genres maripa, bâche, etc.

Le Crabier, que j'appellerai à l'avenir *pian*, de son nom guyanais, a été à tort décrit comme se nourrissant de crabes. Cette vieille légende, propagée depuis Buffon, étonnerait fort les habitants des campagnes guyanaises si on leur racontait que le pian fait ses friandises des crabes. Thomas ne parle pas de son genre de vie. Lydekker (p. 199) dit avec prudence : « on raconte (*it is reported*) qu'il détruit les volailles ». C'est cependant un véritable renard pour la Guyane, et les éleveurs de volailles connaissent trop bien ses dispositions carnassières. Quand, après six heures du soir, une poule se fait entendre, il y a toutes les chances pour que ce soit un pian qui l'étrangle. La lumière d'une simple bougie suffit pour éblouir le voleur — les Sarigues sont crépusculaires et nocturnes — et on arrive alors à s'en emparer avec facilité.

Le pian, à tort ou à raison, a la réputation de s'enivrer avec l'alcool de canne et d'aimer beaucoup l'ananas. Tous les gamins créoles connaissent les expressions « *pian mé nan-nan* » et « *pian, mé tafia* » (1) qui s'emploient dans un sens malicieux.

Une espèce que j'ai cherchée en vain depuis 1891 est le *Chironectes yapock* (Desm.). Elle aurait été d'autant plus intéressante à étudier pour moi que son genre de vie aquatique lui réserve une place à part dans la famille. Je me demande si sa patrie d'adoption est bien l'Oyapock comme semble l'indiquer son nom. De Winton [**184**] l'aurait rencontrée dans la République de l'Equateur, près de Quito ; a-t-elle toujours existé dans cette région ou s'y est-elle installée récemment ? Tend-elle à disparaître de la Guyane ? Dans ce cas, ce ne serait pas l'homme qui l'aurait détruite, car la région de l'Oyapock est peu habitée.

***

Mes recherches ont porté sur les espèces suivantes :

MONOTRÈMES.

Ornithorhynchus paradoxus (Blum.)
Echidna hystrix (E. Geoff.)

(1) « *Pian, voilà de l'ananas, pian, voilà du tafia.* »

Marsupiaux.

Macropus giganteus (Linné)
— *thetidis* (Less.)
— *brunii* (Schreb.)
Dendrolagus ursinus (Schleg et Mull.)
Potorous tridactylous (Kerr.)
Dromicia nana (Desm.)
Petauroïdes volans (Kerr.)
Trichosurus vulpecula (Kerr.)
Phalanger ursinus (Temm.)
— *maculatus* (E. Geoff.)
Phascolomys ursinus (Shaw.)
Perameles obesula (Shaw.)
— *macrura* (Gould.)
— *nasuta* (E. Geoff.)
Dasyurus maculatus (Kerr.)
Didelphys cancrivora (Guel.)
— *virginiana* (Lin.)
— *insularis* (Allen.)
— *opossum* (Lin.)
— *nudicaudata* (E. Geoff.)
— *crassicaudata* (Desm.)
— *brevicaudata* (Lin.)
— *philander* (Lin.)
— *lanigera* (Desm.)
— *murina* (Lin.)
— *lepida* (Thos.)

Mammifères placentaires

Globiocephalus globiceps.
Myrmecophaga tetradactyla.
Sus scrofa.
Ovis aries.
Bos taurus.
Camelus dromedarius.
Lupus caniculus.
Hydrocherus capibara
Cælogenys paca
Lutra brasiliensis
Felis onca.

Felis eyra.
Phyllostoma spectrum.
Cercocebus æthiops.
Cercopithecus sabæus.
Homo sapiens.

OISEAUX.

Pullus domesticus.
Anas boschas.
Anas brasiliensis.
Mellagris gallo pavo.
Anser cinereus.
Columba domestica.
Sarcorrhamphus papa.
Apterix australis.

REPTILES

Alligator lucius.
— *sclerops.*
Crocodilus acutus.
Chelonia mydas.
— *nigrita*
Testudo tabulata.
Thalassochelys caretta.
Crotalus horridus.
Trigonocephalus piscivorus.
Boa constrictor.
Chamæleon vulgaris.
Dracæna guianensis.

AMPHIBIENS.

Salamandra maculosa.
Cryptobranchus japonicus.
Rana esculenta.
Bufo vulgaris.

POISSONS.

Lamna cornubica.
Xiphias Gladius.

Tous ces animaux, sauf *Apterix*, ont été représentés au moins par deux spécimens.

CHAPITRE PREMIER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Dans les ouvrages d'anatomie comparée on a coutume d'étudier le cœur en partant des Vertébrés inférieurs. Cette méthode rationnelle permet de suivre l'organe dans ses perfectionnements successifs, et dans un travail d'ensemble c'est elle qui devra toujours avoir la préférence.

Mais, en raison du but que je poursuis, j'ai cru pouvoir employer la marche inverse. La base de mes recherches étant la connaissance approfondie du cœur des Monotrèmes et des Marsupiaux, c'est par ces deux groupes que je vais commencer cette étude. Un chapitre spécial sera réservé à chacune des parties dans chacune des classes; de telle sorte que, l'esprit encore pénétré des formes décrites chez les Mammifères inférieurs saisira plus facilement et plus vivement les analogies rencontrées d'une part chez les Mammifères placentaires, d'autre part chez les Vertébrés ovipares.

Il m'arrivera dans ces pages de relater des points déjà connus; quand je serai obligé de le faire, ce sera pour indiquer succinctement que je les ai contrôlés moi-même dans le but d'en tirer plus tard quelque indication.

Comme Sabatier, Carl Röse et la plupart des anatomistes, dans tout ce qui va suivre je considérerai l'animal comme s'il était debout. C'est à mon avis la seule façon de faire de l'anatomie comparée utile et profitable, car notre but doit tendre vers la connaissance du type animal le plus perfectionné, l'homme. Pour cela, nous devons nous servir des expressions consacrées par l'anatomie humaine et abandonner radicalement celles encore employées par quelques zoologistes et embryologistes : appeler par exemple la veine cave inférieure, veine cave postérieure, c'est risquer une confusion qui peut devenir préjudiciable à la clarté des homologies.

§ I. — SITUATION.

Le cœur des Implacentaires, comme celui de tous les Mammifères, est logé dans une cage thoracique entièrement séparée de la cavité

abdominale par un diaphragme complètement développé. On sait que déjà chez les Oiseaux, où le diaphragme manque en règle générale, le cœur s'insinue entre les lobes du foie.

Organe primitivement pharyngien, le cœur conserve sa position embryonnaire chez les Poissons et les Batraciens. Ce n'est que par suite du développement du cou qu'il se trouve rejeté en bas (en arrière disent les traités d'embryologie).

Si nous enlevons le plastron sternal d'un *Didelphys* nous constatons que le muscle cardiaque occupe une situation sensiblement médiane et axiale. Ce caractère se rencontre aussi bien chez les Monotrèmes que chez les Oiseaux, Reptiles, Batraciens et Poissons. Chez la grande majorité des Mammifères placentaires, il en est de même. C'est à peine si chez les singes anthropomorphes la pointe se trouve complètement rejetée à gauche et contracte des adhérences avec le diaphragme. La station debout semble seule expliquer pourquoi chez l'homme toute une face de l'organe se trouve en rapport avec le diaphragme dont le centre phrénique lui sert comme de lit (1).

J'ai constaté un écartement variable entre les bords antérieurs des lobes pulmonaires des Didelphes. Pour me placer dans des conditions identiques de comparaison, j'avais soin d'insuffler les poumons par la trachée de façon à rétablir les rapports tels qu'ils existent chez l'animal vivant. Tantôt le cœur est presque complètement recouvert par les lobes pulmonaires qui l'enveloppent, tantôt toute sa face antérieure reste libre et en rapport direct avec la face postérieure du sternum. Ces relations sont d'ailleurs excessivement variables et ne doivent pas nous arrêter, car chez une même espèce, j'ai pu observer tous les intermédiaires. La même variation se présente chez l'homme où la percussion donne des résultats peu comparables.

La figure 1 montre la projection du cœur sur la cage thoracique chez *Didelphys lanigera* (A) et *Phalanger ursinus* (B). On voit que dans ces deux genres le cœur n'occupe pas la même situation : chez *Didelphys* la base se trouve au niveau du cartilage de la deuxième côte, et la pointe dans le quatrième espace intercostal près du cartilage de la cinquième côte. Chez *Phalanger*, au contraire, le cœur, qui est beaucoup plus long, surtout chez les jeunes, a sa base dans le premier espace intercostal et sa pointe dans le cinquième : à droite du sternum, le bord droit du cœur s'étend jusqu'aux cartilages costaux et couvre les deuxième, troisième et quatrième

(1) Cette opinion se trouve dans le traité d'anatomie de Cruveilhier.

espaces intercostaux chez *Didelphys*, les premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième espaces chez *Phalanger*.

Patten ([66] p. 77) est le seul auteur, à ma connaissance, qui se soit occupé de ces projections cardiaques chez les Mammifères.

Parmi les Implacentaires qui nous intéressent, il ne parle que de *Macropus robustus* chez lequel il a trouvé que le cœur s'étend entre les deuxième, troisième, quatrième et cinquième espaces inter-

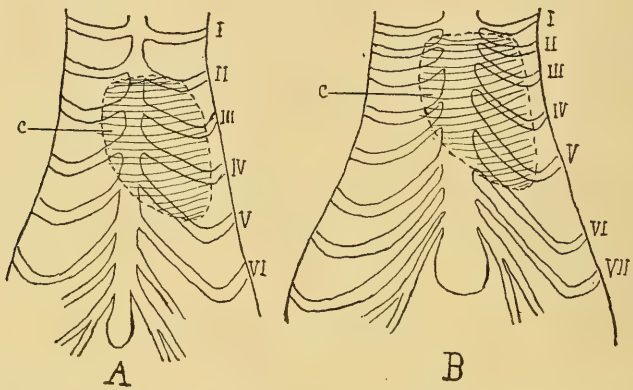


Fig. 1. — A, *Didelphys lanigera* ; B, *Phalanger ursinus*. Représentation schématique de la projection du cœur sur la paroi thoracique ; *c*, cœur. I, II, III,... VII, les sept premières côtes.

costaux gauches, et deuxième, troisième et quatrième espaces droits.

Je m'empresse de faire remarquer que ces rapports ne peuvent fournir aucune donnée pratique. Pour nous en convaincre, il nous suffit de constater combien chez l'homme les anatomistes sont peu d'accord : Henle, Luschka, Braune, Giacomini, Testut, Poirier, etc., donnent chacun des projections différentes. C'est qu'il faut tenir compte des facteurs individuels (variations du volume des cavités, altérations pathologiques des organes voisins, etc.)

§ 2. — RAPPORTS.

Complètement entouré par le sac péricardique que j'étudierai plus loin, le cœur des Monotrèmes et des Marsupiaux est maintenu en place par les gros troncs sanguins qui partent de sa base. En avant il est en rapport direct avec le sternum et le plastron sternal sur lequel j'ai déjà indiqué sa projection (fig. 1, A et B). Le nerf

phrénique gauche, qui descend verticalement au devant de lui, se rapproche sensiblement de la ligne médiane, et dans les cas où les deux poumons sont suffisamment écartés il se présente à la vue, accolé au péricarde, dès qu'on a ouvert le thorax. Parmi les Marsupiaux eux-mêmes c'est chez les *Didelphys* que j'ai rencontré le plus nettement cette disposition. Le nerf phrénique droit au contraire passe derrière le cœur, suivant le bord externe de la veine cave supérieure droite pour descendre le long du bord externe de la veine cave inférieure (pl. I, fig. 1, *phd*, *phg*).

A droite et à gauche le cœur est en rapport avec les lobes pulmonaires droit et gauche. En bas, il repose sur le lobe médian (lobe azygos des auteurs) du poumon droit et contribue à former avec lui le médiastin antérieur. Ce lobe médian présente une concavité supérieure qui constitue un véritable lit au cœur et le sépare complètement du diaphragme.

En arrière les rapports du cœur sont ceux que nous connaissons chez les autres Mammifères : aorte, veines caves, azygos, etc.

Chez les autres Marsupiaux et chez les Monotrèmes, les rapports sont sensiblement les mêmes, et dans aucun cas, le cœur ne contracte d'adhérences avec le diaphragme, comme chez l'homme.

§ 3. — FORME

Chez les Mammifères inférieurs, comme chez les Placentaires et les Oiseaux, le cœur a une forme sensiblement conique. Chez les Marsupiaux le cœur peut être plus ou moins allongé comme le montre la fig. 2. La forme la plus commune est celle représentée dans la fig. 1 pl. 1,

Je dois insister ici sur le cœur D (fig. 2) que j'ai rencontré très souvent chez *Didelphys cancrivora*, au point que je le considérai presque comme caractéristique de cette espèce (au moins chez les adultes mâles). Ce fait est d'autant plus intéressant à signaler que chez aucun Marsupial ni Monotrème je n'ai trouvé de sillon interventriculaire. Ce coup de hache à la pointe donne l'illusion d'un commencement de bifidité et rappelle de loin le cœur devenu classique du Dugong.

On peut diviser le cœur des Marsupiaux, quant à la forme, en :

1° Cœur allongé et arrondi : *Did. cancrivora* (beaucoup de femelles et jeunes) ; *D. crassicaudata* ; *D. nudicaudata* ; *D. lanigera* ; *D. opossum* ; *D. philander* ; *D. lepida* ; *D. murina* ; *Macropus giganteus*, etc.

2° Cœur allongé et plus pointu : *Dasyurus maculatus, Phalanger maculatus, Ph. ursinus, Trichosurus vulpecula, Phascogale calura* (Cuningham), etc.

3° Cœur allongé et très pointu : *Phascolomys ursinus ; Thylacinus cynocephalus* (Cuningham).

4° Cœur large et arrondi : *Didelphys cancrivora* ♂ ; *D. virginiana ; D. marsupialis insularis ; Perameles obesula ; Macropus thetidis ;* etc.

5° Cœur large a pointe large : *Dendrolagus ursinus ; Perameles macrura ;* etc.

6° Cœur allongé a pointe bifide : certains *Didelphys cancrivora* ♂ adultes.

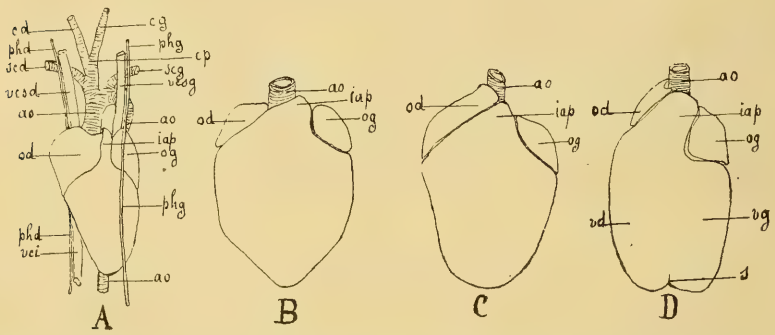


Fig. 2. — Forme du cœur : A, chez un fœtus de *Didelphys murina* ; B, chez *Didelphys insularis* ; C, chez *Dendrolagus ursinus* ; D, chez un *Didelphys cancrivora* où se montre un commencement de bifidité. — Dans toutes les figures : *ao*, aorte ; *od*, oreillette droite ; *og*, oreillette gauche ; *iap*, sinus de l'artère pulmonaire. En A : *phg*, nerf phrénique gauche ; *phd*, nerf phrénique droit ; *cp*, carotide primitive ; *cd*, carotide droite ; *cg*, carotide gauche ; *scd*, artère sous-clavière droite ; *scg*, artère sous-clavière gauche ; *vcsd*, veine cave supérieure droite ; *vcsg*, veine cave supérieure gauche ; *vci*, veine cave inférieure. En D : *s*, sillon séparant à la base les deux ventricules ; *vd*, ventricule droit ; *vg*, ventricule gauche.

Chez les Monotrèmes le cœur peut entrer dans la deuxième catégorie ci-dessus. Owen dit que chez *Ornithorhynchus* l'organe est oblong, à pointe arrondie. Je l'ai trouvé allongé et assez pointu. Chez *Echidna* le cœur est plus allongé et manifestement pointu.

Chez les Oiseaux le cône cardiaque peut être très effilé comme chez le « roi des vautours » (*Sarcoramphus papa*). Chez *Apterix australis* il est allongé et arrondi.

Je n'insiste pas sur la forme variable du cœur des Reptiles, des Batraciens et des Poissons.

§ 4. — DIMENSIONS

Les dimensions du cœur varient avec les individus. Il est intéressant cependant de les comparer chez les différentes espèces. J'ai réuni en quatre tableaux les mesures que j'ai obtenues chez les Marsupiaux et Monotrèmes et chez quelques autres Vertébrés peu communs. Le tableau I (page 20) donne chez les Implacentaires le rapport de la longueur du cœur à sa largeur ; le tableau II (page 21) résume ces mêmes rapports chez quelques types de Vertébrés ; le tableau III (page 22) donne les rapports de l'épaisseur 1° à la longueur, 2° à la largeur ; le tableau IV enfin (page 23) exprime la longueur du cœur par rapport à la longueur totale de l'animal. Ces chiffres sont des moyennes obtenues avec deux spécimens au moins.

L'examen de ces tableaux confirme les données que la science possède déjà, en y ajoutant les détails relatifs aux Marsupiaux et Monotrèmes.

Si nous jetons un coup d'œil sur le tableau I, nous voyons que, par rapport à la largeur prise pour unité, la longueur du cœur varie entre 1,85 (*Macropus giganteus*) et 1,18 (*Macropus thetidis*). Il est curieux de constater que les deux chiffres extrêmes fournis par mes cœurs se rencontrent précisément chez deux types voisins, du même genre.

Cette remarque suffit pour arrêter ceux qui seraient tentés de discuter sur la valeur des dimensions du cœur, car la comparaison des tableaux I et II montre que l'observation s'étend à tous les vertébrés.

Le tableau III est plus intéressant, en ce qu'il nous indique comment le cœur des Reptiles et des Batraciens s'aplatit. Nous y voyons que le rapport entre l'épaisseur et la longueur du cœur établit un certain rapprochement entre les Reptiles et Batraciens d'une part, les Oiseaux, les Marsupiaux et les Monotrèmes d'autre part.

Le tableau IV, dans lequel j'ai groupé les espèces les plus différentes, est intéressant à étudier. Il montre que chez les animaux qui ont une queue, il faut ajouter la longueur de cette queue à la longueur du corps pour se rapprocher de ce qui existe chez l'homme. Sauf chez l'ornithorhynque, en effet, le cœur possède, par rapport au corps proprement dit de l'animal, une taille considérable bien supérieure à ce qui existe chez l'homme. Chez ce dernier, le cœur ne représente qu'un seizième à un dix-septième de la hauteur. Chez *Didelphys cancrivora* par exemple, la propor-

Tableau I. — Rapport de la largeur du cœur à sa longueur chez les Implacentaires

ESPÈCES	Diamètre longitudinal	Diamètre transversal	Rapport $\frac{\text{transv.}}{\text{long.}}$
Marsupiaux			
Didelphys cancrivora	3.2	2.0	$\frac{1}{1.40}$
— *virginiana*	4.4	3.2	$\frac{1}{1.37}$
— *insularis*	3.5	2.6	$\frac{1}{1.34}$
— *opossum*	2.2	1.4	$\frac{1}{1.57}$
— *nudicaudata*	1.7	1.1	$\frac{1}{1.54}$
— *brevicaudata*	1.8	1.2	$\frac{1}{1.50}$
— *crassicaudata*	2.8	1.7	$\frac{1}{1.64}$
— *lanigera*	2.1	1.2	$\frac{1}{1.75}$
— *murina*	1.3	0.8	$\frac{1}{1.62}$
— *lepida*	1.1	0.7	$\frac{1}{1.57}$
— *philander*	1.3	0.7	$\frac{1}{1.85}$
Macropus giganteus	13.0	7.0	$\frac{1}{1.85}$
— *thetidis*	8.2	6.9	$\frac{1}{1.18}$
— *brunii*	9.5	6.0	$\frac{1}{1.58}$
Dendrolagus ursinus	4.1	3.1	$\frac{1}{1.32}$
Potorous tridactylus	2.0	1.7	$\frac{1}{1.17}$
Dromicia nana	1.1	0.7	$\frac{1}{1.57}$
Petauroïdes volans	1 1	0.6	$\frac{1}{1\ 83}$
Trichosurus vulpecula	2.9	1.8	$\frac{1}{1.61}$
Phalanger ursinus	3.8	2.1	$\frac{1}{1.80}$
— *maculatus*	1.6	0.9	$\frac{1}{1.77}$
Phascolomys ursinus	4.9	3.2	$\frac{1}{1.53}$
Perameles macrura	3.8	2.6	$\frac{1}{1.46}$
— *obesula*	3.3	2.0	$\frac{1}{1.65}$
Dasyurus maculatus	3.6	2.4	$\frac{1}{1.50}$
Monotrèmes			
Ornithorhynchus paradoxus	2.4	1.6	$\frac{1}{1.50}$
Echidna hystrix	3.2	1.8	$\frac{1}{1.77}$

N. — Les chiffres sont exprimés en centimètres.

Tableau II. — Rapport de la largeur du cœur à sa longueur chez quelques vertébrés

ESPÈCES	Diamètre longitudinal a	Diamètre transversal b	Rapport $\frac{b}{a}$
Mammifères placentaires			
Chiroptères. *Phyllostoma spectrum* . .	0.9	0.6	$\frac{1}{1.50}$
Carnivores. *Felis onca*	5.9	4.8	$\frac{1}{1.23}$
— *Felis eyra*	4.5	3.2	$\frac{1}{1.40}$
— *Lutra brasiliensis*	4.5	3.1	$\frac{1}{1.40}$
Rongeurs. *Hydrochœrus capibara*. . .	4.3	3.2	$\frac{1}{1.34}$
— *Cœlogenys paca*	2.9	1.9	$\frac{1}{1.52}$
Ongulés. *Sus Scrofa*	12.	10.	$\frac{1}{1.20}$
Ruminants. *Bos taurus*	13.	9.	$\frac{1}{1.44}$
Édentés. *Myrmecophaga tetradactyla*. .	5.7	3.3	$\frac{1}{1.72}$
Oiseaux			
Ratites. *Apterix australis*	4.2	2.7	$\frac{1}{1.55}$
Rapaces. *Sarcoramphus papa*	4.7	3.	$\frac{1}{1.56}$
Gallinacés. *Meleagris gallopavo* . . .	4.3	2.3	$\frac{1}{1.86}$
Palmipèdes. *Anas brasiliensis*	3.8	2.1	$\frac{1}{1.80}$
Reptiles			
Crocodiliens. *Crocodilus acutus* . . .	3.5	1.6	$\frac{1}{2.18}$
Sauriens. *Dracœna guianensis*. . . .	1.6	0.9	$\frac{1}{1.77}$
Ophidiens. *Trigonocephalus piscivorus* .	3.8	2.1	$\frac{1}{1.80}$
Chéloniens. *Testudo tabulata*	4.5	4.4	$\frac{1}{1.02}$
Amphibiens			
Urodèles. *Cryptobranchus japonicus*. .	3.7	4.	$\frac{1}{0.92}$

Tableau III. — Rapport de l'épaisseur à la longueur et à la largeur du cœur

ESPÈCES	Diamètre longitudinal	Diamètre transversal	Diamètre antéro-postérieur	Rapport $\frac{\text{ép.}}{\text{long.}}$	Rapport $\frac{\text{ép.}}{\text{larg.}}$
Marsupiaux					
Didelphys cancrivora . .	4.1	3.1	2.4	$\frac{1}{2.70}$	$\frac{1}{1.29}$
Phalanger ursinus . . .	2.9	1.7	1.2	$\frac{1}{1.70}$	$\frac{1}{1.41}$
Monotrèmes					
Echidna hystrix	2.9	2.1	1.5	$\frac{1}{1.93}$	$\frac{1}{1.40}$
Ornythorhynchus paradoxus	2.4	1.6	0.9	$\frac{1}{2.64}$	$\frac{1}{1.06}$
Mammifères placentaires					
Phyllostoma spectrum . .	0.9	0.6	0.5	$\frac{1}{1.80}$	$\frac{1}{1.20}$
Felis onca	5.9	4.8	3.9	$\frac{1}{1.51}$	$\frac{1}{1.23}$
Lutra Brasiliensis . . .	4.5	3.1	2.1	$\frac{1}{2.14}$	$\frac{1}{1.47}$
Cælogenys paca	2.9	1.9	1.4	$\frac{1}{2.35}$	$\frac{1}{1\ 35}$
Myrmecophaga tetradactyla	8.9	4.6	4.6	$\frac{1}{1.93}$	$\frac{1}{1}$
Oiseaux					
Sarcoramphus papa . .	4.7	3.0	2.0	$\frac{1}{2.60}$	$\frac{1}{1.50}$
Apterix australis. . . .	4.2	2.7	1.9	$\frac{1}{2.21}$	$\frac{1}{1.42}$
Reptiles					
Crocodilus acutus . . .	3.5	1.6	0.9	$\frac{1}{3.88}$	$\frac{1}{1.77}$
Trigonocephalus piscivorus	3.8	2.1	0.9	$\frac{1}{3.88}$	$\frac{1}{2.33}$
Testudo tabulata	4.5	4.4	1.4	$\frac{1}{3.21}$	$\frac{1}{3.14}$
Amphibiens					
Cryptobranchus japonicus.	4.5	4.6	1.5	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3.06}$

Tableau IV. — Rapport entre la hauteur du cœur et celle du corps

ESPÈCES	Hauteur du corps	Hauteur totale *	Hauteur du cœur	Rapport cœur / corps	Rapport cœur / corps & queue
Didelphys cancrivora . .	33	65	3.5	$\frac{1}{9.42}$	$\frac{1}{18.57}$
Phalanger maculatus . .	28	49	2.6	$\frac{1}{10.77}$	$\frac{1}{18.84}$
Ornithorhynchus paradoxus	37	42	2.4	$\frac{1}{15.41}$	$\frac{1}{17.70}$
Cœlogenys paca	26	26.7	2.9	$\frac{1}{13.68}$	$\frac{1}{14.05}$
Phyllostoma spectrum . .		16	0.9		$\frac{1}{17.77}$
Crocodilus acutus . . .	42	82	3.9	$\frac{1}{10.76}$	$\frac{1}{15.83}$
Cryptobranchus japonicus.	42	66	3.7	$\frac{1}{11.35}$	$\frac{1}{17.83}$
Trigonocephalus piscivorus		120	3.8		$\frac{1}{31.57}$
Homme (moyenne de Bizot) (1)		165	10.	$\frac{1}{16.50}$	

* N. La hauteur totale comprend la longueur de la queue.

tion est de un neuvième à un dixième. Elle devient un dix-huitième à un dix-neuvième chez les espèces à longue queue, car en général la queue égale ou dépasse la longueur du corps. Mais chez *Didelphys brevicaudata* le rapport total devient égal à celui que Bizot a trouvé chez l'homme.

Il va sans dire que les mêmes causes qui influent sur les dimensions relatives du cœur de l'homme (âge, sexe, lésions pathologiques) agissent aussi sur le cœur des autres vertébrés. Pour ma part, j'ai remarqué chez *Didelphys cancrivora*, grâce au grand nombre de spécimens que j'ai eus à ma disposition, que le cœur du mâle est un peu plus gros que celui de la femelle de même taille. D'ailleurs extérieurement, celui qui en a l'habitude constate que la femelle est plus élancée que le mâle, que son museau est un peu plus pointu, sa tête moins grosse, etc.

(1) Bizot. — *Mém. de la Soc. Méd. d'observ.* Tome I, p. 262.

Le rapport $\frac{1}{31\ 57}$ obtenu chez les Serpents est secondaire et dû à l'allongement exagéré du corps.

§ 5. — POIDS

Le poids du cœur, comme celui du corps d'ailleurs, est des plus variables chez une même espèce. Le mode d'alimentation, le jeûne, l'époque du rut, etc., sont autant de conditions qui peuvent le faire augmenter ou diminuer. En général, la variation est parallèle entre le poids de l'organe et celui total du corps. Chez les animaux bien nourris que j'ai gardés longtemps en captivité, le cœur se recouvrait d'une surcharge graisseuse plus ou moins abondante. La matière grasse s'accumulait sur le péricarde, dans les sillons, autour des gros vaisseaux, etc. Le muscle cardiaque lui-même était sain et je n'ai rencontré dans aucun cas la vraie dégénérescence graisseuse. Le tissu adipeux ne pouvait provenir que de la suralimentation à laquelle étaient soumis les animaux.

Mais en somme l'écart entre les chiffres obtenus n'est pas grand. Pour une même espèce, *Didelphys lanigera* par exemple, le rapport du poids du cœur au poids total de l'animal a varié entre $\frac{1}{132}$ et $\frac{1}{187}$, chez deux spécimens qui pesaient respectivement 105 grammes (cœur 0,56 centigrammes) et 226 grammes (cœur 1 gramme 71).

La variation est la même chez tous les Marsupiaux américains que j'ai étudiés vivants ou tués très fraîchement. Il ne m'a pas été possible, on le comprend, de chercher par comparaison le rapport des poids chez les Marsupiaux australiens et les Monotrèmes, puisque les spécimens que j'ai pu me procurer au Muséum étaient conservés dans l'alcool.

Jones [**34**], cité par Milne-Edwards, donne pour le rapport que j'étudie les chiffres suivants :

$\frac{1}{128}$ à $\frac{1}{280}$ chez les Mammifères.

$\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{279}$ chez les Oiseaux.

$\frac{1}{354}$ à $\frac{1}{592}$ chez les Reptiles.

C'est donc chez les Oiseaux que le développement du cœur atteint son maximum. Mes recherches placent les *Didelphys* immédiatement après eux parmi les Mammifères.

Chez l'homme le poids du cœur est au poids du corps comme 1

est à 120 chez le nouveau-né (Meckel), comme 1 est à 160 (Tiedmann), comme 1 est à 150 (M. S. Weber), comme 1 est à 158 (Clendinning) chez l'adulte. Retenons que ce rapport est beaucoup plus élevé chez le nouveau-né ainsi qu'il était facile de le prévoir.

§ 6. — VOLUME ET CAPACITÉ

Si l'on considère le cœur comme un cône ou mieux comme une pyramide dont on connaît les trois dimensions, il devient facile de calculer son volume d'après les chiffres réunis dans le tableau III. Je ne donne pas ici ces résultats qui n'auraient de valeur qu'autant qu'ils pourraient être comparés au volume de l'animal lui-même.

Ce travail a été fait chez l'homme par Hiffelsheim et Robin (1) qui ont montré combien était variable la capacité du cœur. En étudiant chacune des variétés séparément on comprendra mieux ces variations.

§ 7. — COLORATION

La coloration du cœur est la même chez tous les Vertébrés; c'est celle de tout muscle rosé. Après la mort, les parties imbibées de sang veineux prennent une couleur foncée tirant sur le noir. Les dépôts de graisse tranchent par leur blancheur sur l'organe. Chez les vertébrés inférieurs, la couleur du cœur est beaucoup plus claire.

§ 8. — CONSISTANCE

La consistance du cœur est variable suivant les régions. Molle et dépressible au niveau des oreillettes, elle est plus ferme au niveau des ventricules. Les parois devenant de plus en plus minces à mesure qu'on descend dans la série, la consistance diminue parallèlement. Quand le sinus veineux existe, sa consistance est celle d'une membrane plus ou moins délicate puisqu'elle est généralement transparente.

(1) *Journal de l'Anatomie*, 1864.

CHAPITRE II

CONFIGURATION EXTÉRIEURE

Dans ses grandes lignes, le cœur des Marsupiaux et des Monotrèmes rappelle extérieurement ce que nous connaissons du cœur des Placentaires.

On sait que quelques anatomistes le considèrent chez l'homme comme une pyramide triangulaire et lui admettent trois faces. Mais ce qui peut être vrai chez l'homme ne l'est plus chez les Mammifères inférieurs.

En tenant compte de la direction du grand axe de l'organe et de la forme aplatie du cône, je décrirai chez les *Didelphys* (*D. cancrivora* par exemple) :

1° une face antérieure ;
2° une face postérieure ;
3° un bord droit ;
4° un bord gauche ;
5° une base ;
6° un sommet.

Considérons en effet les coupes transversales totales de la planche IV (fig. 1, 2, 3 et 4). Ces coupes nous montrent, — et nous le vérifions directement sur l'animal quand nous examinons le cœur en place après avoir relevé le plastron sternal, — que l'axe transversal de l'organe est dirigé, non pas de droite à gauche transversalement, mais bien très obliquement, de façon à se rapprocher du plan sagittal dans la région de la pointe. La face antérieure des classiques devient alors *antéro-externe* (1), la face postérieure *postéro-interne*. Des deux bords, le bord gauche devient *antéro-interne* et le bord droit *postéro-externe*.

Cependant, pour ne pas compliquer et embrouiller les descriptions qui vont suivre j'employerai le vocabulaire consacré généralement en anatomie humaine. Mais il faudra avoir toujours présente à l'esprit l'orientation que je viens d'indiquer.

(1) Les mots *interne* et *externe* sont employés par rapport au plan sagittal du corps de l'animal et non dans le sens profondeur et surface.

1° Face antérieure. — La face antérieure est convexe. Sa courbure est généralement plus prononcée que celle de la face postérieure (fig. 3 et 4, et pl. IV, fig. 1 et 2). Elle est lisse et continue chez tous les *Didelphys*. Une seule fois, j'ai rencontré un sillon interventriculaire chez *Did. virginiana*.

Il est très difficile de prime abord et au simple examen de la face antérieure du cœur, de dire où commence le ventricule gauche et ou finit le ventricule droit, puisque le sillon interventriculaire qu'on

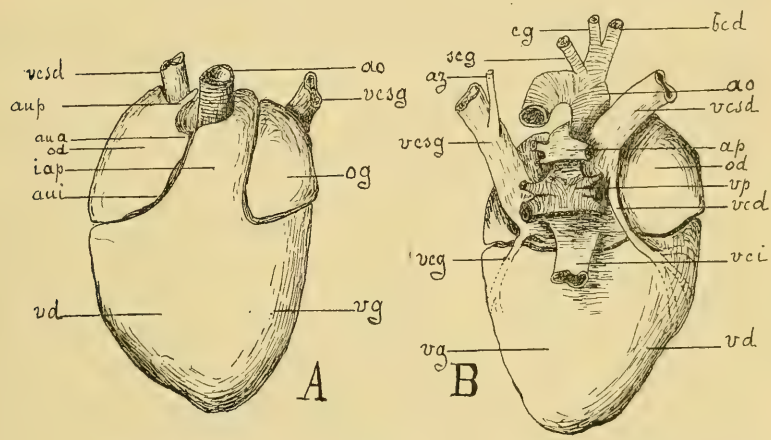


Fig. 3. — Cœur de *Didelphys cancrivora* (grand. nat.). A, face antérieure ; B, face postérieure ; *ao*, aorte ; *ap*, artère pulmonaire ; *iap*, infundibulum de l'artère pulmonaire ; *az*, veine azygos ; *aua*, *aup*, *aui*, auricules préaortique, postaortique et antérieure de l'oreillette droite ; *cd*, *cg*, carotides droite et gauche ; *bcd*, tronc brachio-céphalique droit ; *scg*, artère sous-clavière gauche ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche ; *vd*, *vg*, ventricules droit et gauche ; *vcd*, *vci*, veines coronaires ventriculaires droite et gauche ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vp*, veine pulmonaire.

rencontre chez certains Mammifères placentaires et chez l'Homme, n'existe pas chez les Marsupiaux.

Il faut se mettre en garde contre une cause d'erreur possible : dans certains cœurs non injectés et conservés depuis longtemps dans l'alcool, la paroi du ventricule droit plus mince s'affaisse et donne naissance, dans la région gauche de la face antérieure, à un sillon large et assez profond, dirigé obliquement de haut en bas et de gauche à droite (toujours par rapport à l'animal et non par rapport à l'observateur). On serait tenté de croire que ce sillon est produit par la différence d'épaisseur des parois des deux ventricules et indique leur séparation. Il n'en est rien ; il faut chercher bien

plus en dehors, pour arriver à l'angle gauche du ventricule droit.

On peut cependant, dans certains cas, sans sillon indicateur, délimiter à la vue ce qui revient à chaque ventricule. Dans les cœurs conservés depuis un certain temps dans l'alcool, en effet, il se produit une différence souvent appréciable dans la coloration des fibres musculaires qui constituent les parois propres des deux ventricules : du côté droit les fibres conservent une teinte rouge brunâtre plus ou moins foncée ; dans le ventricule gauche, au contraire, elles sont jaunâtres et plus claires.

Pratiquement, pour trouver exactement la ligne de démarcation des deux ventricules, il suffit de prolonger, par la pensée, le bord gauche du sinus de l'artère pulmonaire et d'inciser un peu en dehors de cette ligne. Cette règle m'a toujours réussi chez les *Didelphys*. Mais elle m'a fait défaut une fois chez *Phalanger :* l'incision ainsi conduite est tombée en pleine paroi ventriculaire gauche ; la séparation des deux ventricules a lieu dans ce cas beaucoup plus en dedans.

La face antérieure du cœur qui, chez l'homme, comprend l'orifice aortique, ne présente à considérer chez les Didelphes que les auricules droite et gauche qui, en bas, recouvrent le sillon interventriculaire et en dedans s'étalent sur le sinus pulmonaire.

Quand j'aurai rappelé que sur la face antérieure rampent les veines et artères coronaires plus ou moins visibles selon que l'asphyxie dernière a été plus ou moins rapide, j'aurai résumé tous les caractères de cette face.

Chez les autres Marsupiaux les caractères sont exactement les mêmes. Les auricules descendent plus ou moins bas, ou recouvrent plus ou moins le sinus pulmonaire.

Si le sillon interventriculaire existait, il serait intéressant de le suivre dans la rotation qu'il opère vers la droite chez certaines espèces. Je reviendrai sur la question quand je traiterai du ventricule droit.

Chez les Monotrèmes, extérieurement, aucun changement n'apparaît à la face antérieure du cœur. Chez Ornithorhynque, l'oreillette droite très développée remonte très haut.

Chez les Mammifères placentaires, la régression des auricules est sensible ; quand on arrive chez l'homme, en passant par le mouton, le veau, le porc, etc., la face antérieure du cœur comprend les oreillettes seulement sur un troisième plan, le deuxième étant représenté par l'origine de l'aorte et le premier par l'artère pulmonaire. Enfin le sillon interventriculaire est généralement très

apparent chez les Placentaires, si prononcé même chez le Dugong que la bifidité du cœur est presque complète.

Chez les oiseaux la face antérieure du cœur rappelle sensiblement ce que j'ai décrit chez les Didelphes. Les oreillettes sont peu développées par rapport aux ventricules. Elles recouvrent à peine le sinus pulmonaire et sont reléguées dans un deuxième plan.

Avec les Reptiles la face antérieure du cœur varie selon les ordres.

Chez les Crocodiliens, le cœur étant très allongé et terminé en pointe. les oreillettes suivent un développement parallèle et descendent très bas, en particulier l'oreillette droite. Pour ce motif, l'espace qui sépare les deux oreillettes, et qui était occupé par le sinus pulmonaire des Mammifères et des Oiseaux augmente aussi bien en largeur qu'en hauteur. Ainsi se trouve constitué un volu-

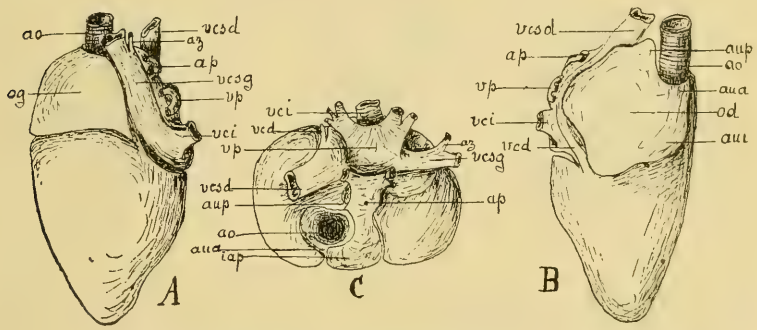


Fig. 4. — Cœur de *Didelphys cancrivora* (grand. nat.). A, bord gauche ; B, bord droit ; C, base. — Mêmes lettres que pour fig. 3.

mineux prolongement à la surface duquel se dessinent vaguement les sillons de séparation des vaisseaux qui le constituent et qui n'émergent que plus haut : ce sont les voies de sortie des cavités cardiaques, au nombre de cinq, toutes étalées sensiblement sur un même plan qu'on peut rattacher au plan antérieur.

En somme, la face antérieure du cœur des Crocodiliens présente trois plans successifs : le premier, c'est-à-dire le plan antérieur, est constitué à la région médiane et supérieure, par la naissance des vaisseaux artériels ; le deuxième, sur les côtés et toujours en haut, par les deux oreillettes ; le troisième, qui occupe la moitié inférieure, par les ventricules.

Chez les Chéloniens, le ventricule se raccourcit et s'élargit ; mais les caractères de la face antérieure sont sensiblement les mêmes et

nous retrouverons très nettement les trois plans précédents, de même que chez les Ophidiens et les Sauriens. Mais chez les Ophidiens et les Sauriens le bulbe artériel est beaucoup moins volumineux que chez les Crocodiliens et surtout chez les Chéloniens.

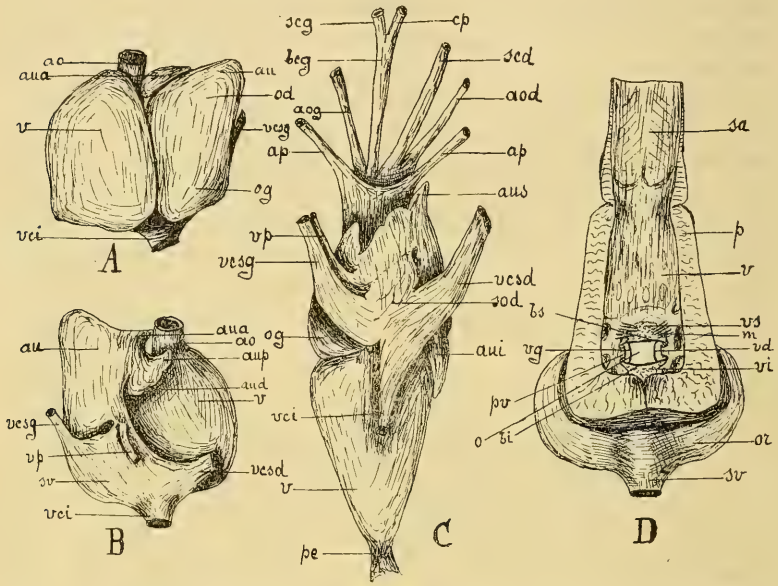


Fig. 5. — A, face antérieure ; B, face postérieure du cœur de *Cryptobranchus japonicus* ; *ao*, aorte ; *v*, ventricule ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche ; *au*, auricule intermédiaire ; *aua*, *aup*, auricules antérieure et postérieure (pré et postaortiques) ; *aud*, auricule dorsale ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vp*, veine pulmonaire ; *sv*, sinus veineux. — C, face postérieure du cœur de *Crocodilus acutus* ; *aod*, *aog*, aortes droite et gauche ; *ap*, artère pulmonaire ; *bcg*, tronc brachio-céphalique gauche ; *cp*, carotide primitive ; *scd*, *scg*, sous-clavières droite et gauche ; *vp*, veine pulmonaire ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *sod*, sinus veineux de l'oreillette droite ; *aus*, *aui*, auricules supérieure et inférieure de l'oreillette droite ; *og*. oreillette gauche ; *v*, ventricule ; *pe*, adhérence du péricarde à la pointe. — D, ventricule ouvert d'Espadon (*Xiphias gladius*) ; *sa*, sinus artériel ; *sv*, sinus veineux ; *or*, oreillette ; *v*, ventricule ; *p*, paroi du ventricule ; *pv*, pilier latéral de la valvule ; *vs*, *vi*, *vd*, *vg*, valves supérieure, inférieure, droite et gauche de la valvule auriculo-ventriculaire ; *bs*, *bi*, bords supérieur et inférieur libres de cette valvule ; *m*, fibres musculaires de la paroi passant sur la valvule.

Chez les Amphibiens, les caractères de la face antérieure commencent à changer. Si chez les Anoures nous rencontrons

encore les trois plans, bulbe, oreillette, ventricule, chez les Urodèles l'aspect n'est plus le même et nous nous rapprochons de ce que nous allons trouver chez les Poissons. Chez la Salamandre du Japon *(Cryptobranchus japonicus)* la face antérieure du cœur qui était plus ou moins allongée et ovalaire chez les Vertébrés que nous venons d'étudier, devient irrégulièrement quadrilatère et se rapproche d'un carré (fig. 5 A). C'est qu'en effet, le ventricule et les oreillettes se présentent de face et leur séparation extérieure très nette se voit dans le sillon profond de la ligne sagittale. Ici donc la face antérieure du cœur est essentiellement constituée par la face antérieure du ventricule et des oreillettes, comme dans les autres groupes, mais les deux oreillettes, au lieu d'être placées au-dessus du ventricule, sont confondues extérieurement et situées à la gauche de ce ventricule. Elles n'ont plus aucune relation avec le bulbe artériel compliqué des Reptiles, puisque le sang du ventricule ne peut suivre que le chemin de l'unique vaisseau artériel.

Chez les Dipnoïques, la disposition de l'oreillette, qui se trouve en haut et en arrière du ventricule, rappelle plus les Anoures que les Urodèles, et la face antérieure du cœur ne se compose plus que de la face antérieure du ventricule et du bulbe artériel.

Chez les Poissons enfin, quelle que soit la disposition de l'oreillette et du sinus veineux, la face antérieure du cœur est uniquement constituée par le ventricule et le bulbe. Mais si le ventricule présente généralement une face antérieure bombée et arrondie, cette face se réduit chez l'Espadon *(xyphias gladius)*, à un bord presque tranchant et ce sont les parties que nous avons coutume d'appeler *bords* qui deviennent ici deux *faces latérales*.

2° Face postérieure. — La face postérieure du cœur des *Didelphys* est irrégulièrement convexe. Sa courbure est moins accentuée que celle de la face antérieure. Chez les animaux morts avec arrêt complet du cœur en systole elle disparaît presque totalement et la face postérieure peut être considérée comme plane. Dans beaucoup de cœurs vidés la même disposition peut se constater.

Comme à la face antérieure, il faut considérer à la face postérieure une partie inférieure essentiellement constituée par les ventricules et une partie supérieure constituée par les oreillettes. Entre les deux, se voit nettement le sillon auriculo-ventriculaire qui est continu et ininterrompu. La veine cave inférieure à la partie médiane et les deux veines coronaires ventriculaires qui vont se jeter respectivement dans les deux veines caves supérieures, passent par dessus lui comme trois ponts.

Le sillon interventriculaire n'est pas plus visible à la face postérieure qu'à la face antérieure. Quand il y a tendance à la bifidité, comme dans fig. 2, D, le sillon observé ne remonte pas à une hauteur supérieure à un cinquième ou un quart du ventricule.

La partie auriculaire de la face postérieure du cœur ne comprend que les embouchures de la veine cave inférieure et de la veine cave supérieure gauche, avec la veine coronaire ventriculaire gauche qui s'y déverse. Le reste des gros vaisseaux appartient à la base du cœur, on n'y aperçoit pas trace de sillon inter-auriculaire. J'y reviendrai en traitant de la base.

Quand le cœur descend jusqu'au contact du diaphragme, c'est la partie tout à fait inférieure seule qui est intéressée, comme on le constate sur les cœurs conservés dans l'alcool fort, et qui ont durci en bloc avec le diaphragme et les poumons : la convexité du diaphragme imprègne à cette région une courbure identique qui se traduit par une concavité du ventricule dont la pointe, au lieu d'être arrondie, devient aplatie et tranchante. C'est un acheminement vers la face diaphragmatique du cœur humain.

Chez les Monotrèmes, la face postérieure du cœur représente, à peu de chose près, les mêmes caractères que chez les Marsupiaux. Sa partie supérieure (auriculaire) est relativement plus développée que chez les Marsupiaux, et le sillon auriculo-ventriculaire est en grande partie caché par la courbure de la veine cave supérieure gauche. Nous rencontrerons cette même disposition, encore plus caractérisée, chez les Serpents.

Chez les Mammifères placentaires, la face postérieure du cœur diffère de ce que nous venons de décrire chez les Mammifères inférieurs. Le sillon interventriculaire fait son apparition ; la veine cave supérieure gauche disparaît et la région ventriculaire contracte des rapports accentués avec le diaphragme, au point de donner la face diaphragmatique de l'homme. Le sillon interauriculaire s'est précisé.

Chez les Oiseaux la partie ventriculaire de la face postérieure acquiert son maximum de développement. Les trois veines caves, toujours présentes, peuvent s'ouvrir soit séparément dans l'oreillette, soit ensemble, soit en deux groupes (veine cave inférieure et veine cave supérieure droite d'une part, veine cave supérieure gauche d'autre part). Chez les Reptiles, la face postérieure se complique déjà par la présence d'un sinus veineux indiscutable que Sabatier et Carl Röse ont bien étudié. Il nous faut donc reconnaître dans ce groupe un plan postérieur à celui de la face

ventriculaire, constitué par les veines caves plus ou moins réunies (voir la fig. 5, C, pour le Crocodile). Généralement à la veine cave supérieure gauche s'unit intimement, en côtoyant son bord supérieur, la veine pulmonaire.

Chez les Amphibiens, ces rapports s'accentuent davantage, si bien que chez les Urodèles (*Cryptobranchus japonicus*, fig. 5, B) presque toute la face postérieure est occupée par le sinus veineux.

Un pas de plus et nous arrivons à l'immense sinus veineux des Poissons qui va se déplacer, avec les espèces, de bas en haut à la face postérieure. Les Dipnoïques seuls font exception à la règle et nous sommes obligés de reconnaître qu'à ce point de vue ainsi qu'à d'autres, leur cœur, loin de servir d'intermédiaire entre les Poissons et les Amphibiens, est plus compliqué que celui des Urodèles.

3° Bord droit. — Le bord droit est très large chez les Marsupiaux. Il suffit pour le vérifier de jeter un coup d'œil sur la figure 4 (B et C),

Les fig. 1, 2, 3, 4 (pl. IV) et 3 à 9 (pl. III) montrent encore mieux, sur les coupes transversales, que ce bord est une véritable face. Je conserve cependant le terme *bord* pour la commodité des homologies.

Le bord droit ne présente rien de particulier. Il est arrondi et convexe de haut en bas en s'infléchissant vers la pointe. Il présente vers son tiers supérieur le bord tranchant de l'oreillette droite, qui est sur un plan externe, par rapport à celui du ventricule droit placé en dessous.

Chez les Monotrèmes, les Oiseaux et les Crocodiliens, ces caractères sont sensiblement les mêmes.

Chez les Chéloniens, sa région ventriculaire est très inclinée en raison de la forme triangulaire du cœur.

Chez les Ophidiens, les rapports restent les mêmes, mais la région auriculaire est beaucoup plus saillante.

Chez les Sauriens et les Batraciens anoures, les divisions en région auriculaire (supérieure) et ventriculaire (inférieure) sont encore très nettes, mais disparaissent chez les Urodèles où le bord droit est représenté par le bord droit du ventricule lui-même (fig. 5 A). Chez les Poissons, particulièrement les Dipnoïques, chez lesquels le ventricule est surmonté de l'oreillette, le bord droit reprend les caractères décrits dans les autres groupes. Au bas de l'échelle, les rapports changent et c'est la portion auriculaire qui devient inférieure, et constitue sur une hauteur plus ou moins grande le côté droit du bord droit.

4° Bord gauche. — Le bord gauche est encore plus large que le

bord droit dans le cœur marsupial. Mais sa convexité est moins prononcée ; dans certains cœurs elle disparaît même presque complètement et le bord paraît vertical. En haut est l'oreillette gauche, en bas le ventricule gauche sur un plan postérieur.

Les mêmes observations que nous avons résumées pour le bord droit des différents groupes peuvent se répéter ici. Chez les Urodèles, comme la Salamandre du Japon (fig. 5), le bord gauche est représenté par le bord des oreillettes doublé en bas et à droite du sinus veineux.

5° Base. — Si on considère la *base* comme la surface au centre de laquelle tombe l'axe longitudinal mené de la pointe du cœur, cette partie ne correspond chez aucun animal au faisceau d'émergence des gros vaisseaux. Pour s'en convaincre, il suffit de se reporter à la figure 4. En A et B, on voit que la région dans laquelle sont réunis les orifices de ces gros vaisseaux, est fortement oblique en arrière, de haut en bas. La veine cave inférieure et la veine cave supérieure gauche, chez les Marsupiaux par exemple, appartiennent manifestement à la face postérieure, ainsi que je l'ai signalé. On avait remarqué depuis bien longtemps cette tendance à la verticalité de l'axe. Cuvier y a fortement insisté. L'observation que je viens de rappeler en découle ; mais il m'a paru utile de la faire ressortir afin de bien montrer, qu'en écrivant que l'axe du cœur se rapproche de plus en plus de la verticale et de la ligne médiane du corps quand on descend dans la série des Vertébrés, on doit ajouter que la surface d'émergence des gros vaisseaux se déplace en même temps en arrière et en bas.

L'aorte seule sort directement de la partie supérieure du cœur en suivant une direction verticale. L'artère pulmonaire elle-même, si on l'étudie en tant qu'artère et non comme sinus pulmonaire, se dirige brusquement en arrière. Mais en considérant le vaisseau sectionné à son émergence du ventricule, plus exactement à la ligne de démarcation nette et visible que l'on remarque surtout dans les cœurs conservés dans l'alcool, entre le tissu propre de l'artère et celui du ventricule, je suis d'avis de reconnaître qu'il appartient à la base véritable du cœur. Dans ces conditions, *la base du cœur ne serait formée que des orifices d'émergence de l'aorte et de l'artère pulmonaire, et de la paroi supérieure des oreillettes.*

La formule devient encore plus simple chez les Reptiles et les Amphibiens, où les deux vaisseaux font partie d'un sinus ou bulbe artériel.

Chez les Poissons, la base du cœur serait représentée toujours

par le bulbe artériel, tantôt avec l'oreillette, tantôt avec le ventricule selon que l'oreillette dans son ascension le long de la paroi postérieure du cœur a atteint un niveau supérieur à celui du ventricule.

Ces observations admises, je suis d'avis de conserver le terme générique de *base* dans l'acception qui lui est consacrée en anatomie humaine, c'est-à-dire, comme surface d'émergence des gros vaisseaux, afin de faciliter l'étude de ces vaisseaux dans leurs relations réciproques.

La fig. 4, C, représente l'aspect de la base du cœur chez *Did. cancrivora*. Je le répète, vu ainsi, le grand axe de l'organe ne tombe pas au milieu de la figure C, mais en un point situé derrière l'aorte, sur la ligne médiane, à l'extrémité de la ligne *ap* qui correspond à l'artère pulmonaire proprement dite, plutôt un peu en avant de ce point. On y rencontre : sur un premier plan (antérieur) le sinus pulmonaire ; sur un deuxième plan et un peu à droite, l'orifice de l'aorte entouré par les auricules préaortiques et postaortiques de l'oreillette droite ; sur un troisième plan, la division de l'artère pulmonaire en branches droites et gauches ; sur un quatrième plan, l'orifice de la veine pulmonaire, ou un peu plus en arrière, le vaisseau lui-même avec sa bifurcation en branches droites et gauches; sur un cinquième plan l'embouchure de la veine cave supérieure droite, un peu à droite; sur un sixième plan, l'embouchure de la veine cave supérieure gauche, sur la ligne médiane ; sur un septième et dernier plan enfin, tout à fait postérieur, l'orifice de la veine cave inférieure, sur la ligne médiane. (J'ai, en étudiant la face postérieure du cœur, rattaché nettement ces deux derniers plans à cette face). Des deux côtés, la base du cœur est complétée par la face supérieure convexe des oreillettes.

Chez les Monotrèmes, cette description s'adapte exactement.

La disposition est la même sensiblement chez l'Éléphant, la plupart des Rongeurs, des Insectivores et des Chiroptères chez lesquels on rencontre deux veines caves supérieures comme chez les Marsupiaux et les Monotrèmes. Chez les autres Placentaires et en particulier chez les Singes, le rapprochement vers l'Homme se fait plus sentir. Ce sont les animaux en général chez lesquels le cœur est plus penché en avant et en relation plus directe avec le diaphragme.

Chez les Oiseaux, qui possèdent aussi deux veines caves supérieures, la description de la base du cœur se rapproche considérablement de ce que j'ai rapporté pour les Marsupiaux. Le cœur étant

sensiblement vertical, les observations que j'ai présentées au sujet de cette base se vérifient encore mieux ici.

Chez les Reptiles et les Batraciens anoures, le bulbe artériel et les deux oreillettes qui l'encadrent, constituent la base du cœur. Chez les Urodèles, le bulbe est entre le ventricule et l'oreillette droite (supérieure). Chez les Poissons, la base se réduit généralement au bulbe artériel émergeant du ventricule ; quand le sinus veineux, dans son ascension, est arrivé à son niveau, il la complète.

6° Sommet. — Le sommet du cœur, qu'on appelle généralement la *pointe*, ne nous arrêterait pas si ce n'était le cas particulier que j'ai signalé chez *Didelphys cancrivora*. Plus ou moins aigu, plus ou moins large, plus ou moins arrondi, il varie en effet considérablement avec les espèces. Chez *Did. cancrivora* (fig. 4, D), il présente souvent une forte encoche antéro-postérieure qui donne à l'organe un aspect bifide particulier et le rapproche du cœur devenu classique du Dugong.

Je n'ai jamais rencontré cette disposition ailleurs que chez ce Didelphe américain.

CHAPITRE III

CONFIGURATION INTÉRIEURE

Le cœur, muscle creux, présente à considérer : 1° une paroi ; 2° une cavité.

La paroi se compose : *a*) du péricarde, *b*) du myocarde proprement dit, *c*) de l'endocarde.

La cavité se divise en : α) ventricule, β) oreillette qui se subdivisent progressivement en ventricule droit et ventricule gauche, oreillette droite et oreillette gauche.

A. — PAROI DU CŒUR

§ I. — LE PÉRICARDE

Le péricarde, qui s'est déjà différencié depuis les Invertébrés et qui se montre chez l'embryon dès les premiers stades du développement du cœur, présente un type uniforme dans toute la série des Vertébrés ; c'est un sac clos de toutes parts, sauf quelques rares exceptions signalées chez les Poissons, où la cavité péricardique communique avec la cavité péritonéale, vestige du développement embryogénique.

Je n'insiste pas sur la division classique en feuillet viscéral et pariétal.

Chez les Didelphes, comme chez tous les Mammifères, y compris l'Homme, le feuillet viscéral du péricarde est intimement uni au muscle cardiaque et suit toutes les anfractuosités de sa surface extérieure. Le feuillet pariétal au contraire passe en pont au dessus des sillons et des vaisseaux de la surface.

La figure 10 (pl. IV) représente précisément la région où l'auricule droite recouvre le ventricule droit. Elle provient d'une coupe longitudinale du cœur chez un très jeune *Didelphys murina.*

Le feuillet pariétal du péricarde se prolonge très loin sur les vaisseaux qui émergent du cœur et leur forme une gaîne complète à leur base, avant de se fusionner avec le feuillet viscéral. Cependant

il existe ici, comme chez l'Homme, un *sinus transverse* : c'est la portion de la cavité péricardique limitée par la face antérieure des gros troncs artériels et la face postérieure des oreillettes. Pour le découvrir, il suffit de retourner le feuillet viscéral du péricarde comme un doigt de gant : le cœur devient libre et n'est retenu que par l'insertion de ce feuillet viscéral aux gros vaisseaux.

La veine cave inférieure, au dessous de sa région péricardique, devient libre dans la cavité thoracique ; c'est sur l'aorte que se réfléchit la plèvre médiastinale. La fig. 2 (pl. I) montre les deux plèvres médiastinales chez *Didelphys philander* se séparant du péricarde pour aller s'insérer à droite et à gauche du centre phrénique du diaphragme.

Il n'existe pas à proprement parler de ligaments péricardiques chez les Marsupiaux. Si comme chez les *Macropus*, le péricarde devient adhérent à la face postérieure du sternum, cela tient à la présence d'un tissu cellulaire dense et serré et non à des ligaments fibreux véritables comme chez l'Homme.

De même, en arrière, c'est par l'intermédiaire de la plèvre médiastinale que le péricarde est maintenu à la colonne vertébrale. *Chez les Marsupiaux et en particulier chez les Didelphys que j'ai pu mieux étudier à l'état frais, le péricarde ne présente aucune insertion sur les organes voisins.* Les adhérences sont dues purement et simplement à un tissu cellulaire secondaire qui rappelle le tissu cellulo-fibreux des adhérences inflammatoires.

Chez les Monotrèmes, les relations du péricarde sont exactement les mêmes que chez les Marsupiaux. Il m'a été difficile de constater la présence du liquide péricardique normal que j'ai rencontré chez les Didelphys, les échantillons que j'ai eus étant conservés dans l'alcool.

Chez les Oiseaux, le sac péricardique adhère à la cloison diaphragmatique postérieure et sur les côtés aux réservoirs pneumatiques.

Chez les Reptiles, le péricarde s'épaissit d'une façon considérable à la face postérieure du cœur, où il est confondu avec la membrane péritonéale qui enveloppe le foie, et il est difficile d'en isoler les grosses veines. En bas, il adhère intimement à la pointe du cœur chez nombre d'espèces. Mais ce qui caractérise le péricarde de cette classe, comme chez les Poissons, ce sont les tractus fibreux plus ou moins nombreux qui l'unissent à la surface du cœur. Contrairement à ce qui existe chez les Vertébrés supérieurs, l'organe n'est donc plus libre dans le sac péricardique.

Histologie. — Les coupes du péricarde que j'ai obtenues chez

différents Didelplys (*Did. cancrivora, Did. lepida, Did. murina*) montrent que, comme chez les autres Mammifères, les deux feuillets péricardiques sont accolés l'un contre l'autre de telle sorte que la cavité péricardique reste virtuelle. Elle ne devient réelle qu'après la mort ou dans les cas pathologiques, et elle se remplit alors d'une quantité plus ou moins grande de liquide.

En allant de l'intérieur vers l'extérieur j'ai rencontré les couches suivantes (fig. 10, pl. IV) : 1° une couche *séreuse* qui adhère intimement au myocarde et dans laquelle se distinguent très nettement une série de fibres élastiques qui deviennent plus denses vers la partie médiane de la couche. On sait que chez l'Homme cette couche médiane est bien délimitée (1).

2° L'*endothélium*, constitué par une couche de cellules aplaties et irrégulières, à gros noyaux longitudinaux. Soulié (2) dit que chez l'Homme « l'épithélium péricardique n'affecte pas l'aspect ordinaire « des endothéliums séreux ; comme celui de l'épicarde, il se com- « pose de cellules cubiques qui s'éloignent sensiblement par leurs « caractères des cellules endothéliales ». Comme dans mes coupes transversales, cette couche endothéliale paraît en effet constituée par des cellules cubiques et même cylindriques, je me demande si Soulié — qui ne dit pas s'il a examiné cet épithélium seulement sur les coupes transversales telles qu'il le figure ou s'il l'a étudié étalé, — n'a pas dû prendre pour des cellules cubiques, comme je l'avais fait d'abord moi-même, des cellules aplaties et irrégulières.

La réunion de ces deux couches constitue le feuillet viscéral du péricarde, tandis que son feuillet pariétal est formé par les deux couches suivantes :

3° Une couche *endothéliale*, à cellules aplaties et irrégulières, identique à la précédente, dont elle n'est en somme que la continuation directe. Les deux endothéliums ne sont séparés l'un de l'autre que par la cavité péricardique virtuelle, qui ne devient réelle que par épanchement post-mortem et dans les cas pathologiques, ainsi que je l'ai déjà dit.

4° Une couche *séro-fibreuse* à faisceaux parallèles et à noyaux orientés. C'est dans son épaisseur que courent les vaisseaux et les nerfs ; à sa partie la plus externe le tissu devient de plus en plus large et se continue insensiblement avec le tissu cellulaire quand il y a des adhérences. Au contraire, sur les côtés et en arrière, c'est-à-dire dans les régions où le péricarde est en contact avec la plèvre, la démarcation des deux séreuses devient très nette.

(1) Soulié. — In *Anatomie humaine* de Poirier et Charpy, p. 626.
(2) Loc. cit.

§ 2. — LE MYOCARDE

Le myocarde (1) constitue à lui seul presque toute la paroi cardiaque. Il comprend les cloisons auriculo-ventriculaires, inter-auriculaire et inter-ventriculaire quand ils existent.

L'étude anatomique, pour éviter les répétitions, sera reportée au chapitre traitant de chacune de ces cavités. De même, c'est en décrivant l'architecture du cœur, que je parlerai des anneaux fibreux qui entourent les orifices auriculo-ventriculaires.

Il me reste donc à décrire la fibre cardiaque.

L'étude histologique de cette fibre cardiaque chez les Vertébrés forme à elle seule le sujet d'un mémoire important, que M. Marceau ne tardera pas à nous faire connaître.

Les moyens dont je disposais en Guyane, d'autre part, ne m'ont pas permis de faire un travail aussi délicat. J'ai seulement étudié la fibre cardiaque des *Didelphys*, et c'est le résultat forcément limité de mes observations que je vais résumer.

La fibre cardiaque des *Didelphys* présente le type classique que l'on rencontre chez les Vertébrés supérieurs. Elle montre d'une façon excessivement nette sa division extrême et ses anastomoses nombreuses : chaque rameau ainsi constitué continue directement le précédent qui provient lui-même d'un plus éloigné, sans que l'on puisse distinguer où commence la fibre et où elle finit. Il est difficile d'admettre ici la théorie de la cellule cardiaque. Je ne saurai cependant généraliser le fait, ni même certifier d'une façon absolue le bien fondé de cette opinion, car je le répète, mes recherches histologiques n'ont pu être complètes. Il aurait été intéressant par exemple de savoir si les fibres de Purkinge — que je n'ai pas rencontrées chez les *Didelphys* — existent chez les Monotrèmes puisque Marceau suppose que la fibre de Purkinge n'est qu'une variété de la fibre cardiaque et un vestige probable d'une forme musculaire ancestrale [**153**].

La même double striation longitudinale et transversale et les mêmes gros noyaux se rencontrent chez les *Didelphys*. Mais quand on examine à l'éclairage latéral certaines fibres cardiaques, elles présentent un contour plus clair, qui rappelle le double contour des fibres nerveuses à myéline. Est-ce là un phénomène secondaire dû à la préparation, ou est-ce une disposition spéciale du sarcolemne ? Je ne saurais le dire.

(1) Je donne au mot « myocarde » le sens de tunique musculaire, par opposition aux termes « péricarde » et « endocarde. »

Les coupes totales du cœur soit transversales (pl. III), soit longitudinales (pl. IV), montrent la disposition relative des faisceaux de fibres entre eux. J'y reviendrai en traitant de l'architecture du cœur.

§ 3. — L'ENDOCARDE

L'endocarde constitue le revêtement interne du cœur. Chez les Vertébrés supérieurs à ventricules complètement séparés, on peut le considérer comme constituant deux sacs absolument distincts, placés l'un à côté de l'autre et ne communiquant pas ensemble, l'un tapissant le cœur droit, l'autre le cœur gauche. Il se continue directement avec la tunique interne des gros troncs sanguins. Cependant Luschka, et avec lui Schweiger Seidel, regardent l'endocarde comme une paroi vasculaire complète. (Ils considèrent le myocarde comme totalement indépendant de la tunique musculaire des vaisseaux).

Comme le péricarde, auquel cependant il ne doit pas être comparé, l'endocarde tapisse toutes les anfractuosités qu'il rencontre. Beaucoup plus mince que le péricarde, il se compose de deux couches : 1° l'*endothélium*, qui est constitué par une assise unique de cellules polygonales irrégulières (fig. 12, pl. III) ainsi qu'on peut bien le montrer par l'imprégnation au nitrate d'agent ; 2° une couche *conjonctivo-élastique* très mince qui s'unit intimement au myocarde. Cette couche s'épaissit dans certaines régions : elle passe du simple au double au niveau des orifices et partout où la pression sanguine augmente, sous l'effet probablement de cette pression. C'est dans son épaisseur que courent les vaisseaux et nerfs. En somme, chez les *Didelphys* que j'ai examinés, l'endocarde présente les mêmes caractères que chez les autres Mammifères. Je n'ai pas pu contrôler le fait, qui sans doute est le même, chez les Monotrèmes.

B. — CAVITÉS

§ 1. — OREILLETTE DROITE

Marsupiaux

Chez les Marsupiaux, l'oreillette droite est très grande et présente extérieurement une forme assez régulière. Elle recouvre le sillon auriculo-ventriculaire par son bord libre qui est coupant et constitue en bas et en avant la région des auricules.

Auricules. — On peut dire que l'oreillette droite, sauf en haut et en arrière, est entourée complètement par les auricules que je propose de diviser en trois groupes : 1° une auricule inférieure que j'appellerai *auricule coronaire*, parce qu'elle recouvre l'artère coronaire droite qui est logée dans le sillon auriculo-ventriculaire ; 2° une auricule supérieure et antérieure à laquelle on peut conserver le nom d'*auricule préaortique* proposé par Owen ; 3° une auricule supérieure et postérieure ou *auricule post-aortique*, d'Owen.

Chez tous les représentants du genre *Didelphys* que j'ai examinés, j'ai retrouvé cette division qui se base non seulement sur la forme extérieure des parties mais encore sur leur constitution interne, comme nous le verrons plus loin.

Owen, dans ses différentes publications, a toujours considéré les deux auricules pré et post-aortiques comme caractéristiques des Marsupiaux. Cependant, Cuningham [3] soutient que ce caractère n'est pas constant et ne l'a pas trouvé, dit-il, chez les espèces qu'il a examinées (*Phalangista vulpina*, *Phalangista maculata*, *Dasyurus viverrinus*, *Thylacinus cynocephalus*, *Phascogale calura*).

Toutes les espèces australiennes que j'ai étudiées présentaient cette division, plus ou moins nette, mais indiscutable et facile à vérifier par l'ouverture de l'oreillette : il y a toujours trois ouvertures faisant communiquer le tissu aréolaire du bord tranchant de l'auricule avec la cavité de l'oreillette. Je pense donc que le caractère distinctif donné par Owen, et qui est si net dans le genre *Didelphys*, doit être maintenu.

Quand on ouvre l'oreillette on voit qu'un bon quart de son volume est occupé par les auricules que je vais décrire maintenant.

En bas, en avant et en haut, le tissu de l'oreillette est constitué par une série de piliers musculaires, les uns entièrement libres dans leur partie médiane, entre leurs deux extrémités d'insertion, les autres adhérents et comme sculptés dans la paroi. Ces colonnes interceptent entre elles une série de cavités ou loges qui communiquent largement les unes avec les autres, d'où l'aspect reticulé et spongieux de cette région. C'est la même disposition qu'on retrouve chez l'Homme et un peu partout dans la série. Mais, ce que je ferai remarquer, c'est que ces alvéoles communiquent avec la cavité propre de l'oreillette par trois orifices distincts, ce qui m'a permis de proposer la division en trois auricules. Souvent, les auricules *coronaire* et *préaortique* se continuent extérieurement sans limite de démarcation nette, sinon une faible échancrure de leur bord tranchant. Mais à l'intérieur les auricules sont séparées l'une de l'autre

par une colonne musculaire transversale qui délimite deux orifices : l'un inférieur, plus grand, situé au dessus et en avant de l'orifice auriculo-ventriculaire (orifice d'entrée de l'auricule coronaire) ; l'autre placé au dessus de la précédente, en avant de l'ouverture de la veine cave supérieure droite (orifice d'entrée de l'auricule pré-aortique). L'auricule post-aortique, très développée chez les Didelphes, communique généralement avec la cavité de l'oreillette par deux orifices plus petits que les précédents, mais d'égal diamètre l'un et l'autre, de forme elliptique, à grand axe antéro-postérieur, qu'on aperçoit immédiatement en dedans de l'ouverture de la veine cave supérieure droite, sur la face supérieure de l'oreillette, près de l'angle que fait cette face avec la face interne ou septale.

Chez les autres Marsupiaux américains que j'ai étudiés, la disposition est exactement la même. J'ai trouvé souvent, surtout chez *Didelphys virginiana*, un seul orifice, élargi en conséquence, pour l'auricule post-aortique. Le cas intermédiaire se rencontre aussi quelquefois, ainsi que je l'ai bien noté chez *Did. insularis*, où les deux orifices existent, le supéro-postérieur plus réduit.

Les familles australiennes présentent à peu de choses près les mêmes caractères. Chez *Macropus giganteus* et *Phascolomys ursinus* ainsi qu'Owen l'a fait remarquer depuis longtemps, et comme j'ai eu l'occasion de le vérifier, les auricules pré- et post-aortiques sont généralement bien développées extérieurement. Chez un *Macropus giganteus* cependant, j'ai trouvé une auricule post-aortique grêle et très allongée, mais communiquant néanmoins avec la cavité de l'oreillette par un orifice assez large.

Chez *Dendrolagus ursinus* l'auricule coronaire peut être aussi développée que chez les Didelphes eux-mêmes : elle possède deux orifices distincts séparés par une colonne musculaire transversale moins puissante cependant que celle qui la sépare de l'auricule pré-aortique.

Il en est de même chez les *Macropus* où l'auricule coronaire, au lieu d'avoir un seul orifice, en offre plusieurs, généralement trois ou quatre, séparés par autant de colonnes musculaires.

Chez *Perameles, Phalanger*, *Phascolomys*, au contraire, l'auricule coronaire est moins développée et tend à disparaître de plus en plus à sa partie la plus inférieure. Dans les cas extrêmes, ainsi que je l'ai constaté chez *Perameles macrura*, la colonne principale, qui existe toujours et qu'on peut reconnaître à son volume plus fort, ne sépare plus nettement les deux auricules coronaire et préaortique. Le bord tranchant de l'oreillette, en effet, est tapissé par

une série de colonnettes comme celles que nous avons trouvées au fond des auricules normales.

Ces caractères m'ont permis de rattacher au genre *Perameles* un vieux cœur que j'ai découvert dans le magasin d'anatomie comparée du Muséum et qui portait l'étiquette « Didelphys ? »

En généralisant on peut les résumer dans les deux conclusions suivantes :

1° Chez tous les Marsupiaux, comme Owen l'a écrit le premier, et contrairement à l'assertion de Cuningham, la présence des auricules supplémentaires est constante. En dehors des deux auricules pré et post-aortiques d'Owen, il existe une troisième, que je propose d'appeler auricule *coronaire*.

2° Chez les *Didelphys* américains, les auricules acquièrent une importance plus grande que chez les Marsupiaux australiens. En particulier l'auricule coronaire et l'auricule post-aortique sont toujours très développées en même temps que l'auricule pré-aortique. C'est un caractère que je signale, qui permet jusqu'à un certain degré de séparer le groupe américain du groupe australien.

Oreillette proprement dite. — L'oreillette droite considérée isolément chez les Marsupiaux, et en général chez tous les Mammifères et Oiseaux, y compris l'Homme, a la forme d'une tiare plus ou moins allongée ou élargie, dont le dôme regarde en haut et en arrière. Mais pour les commodités de la description et la facilité des comparaisons, je suivrai la méthode employée en anatomie humaine, et la considérerai comme une cavité cubique à laquelle on peut reconnaître par conséquent six parois : une supérieure, une inférieure, une antérieure, une postérieure, une externe (droite) et une interne (gauche), qui n'est autre chose que la paroi interauriculaire.

1° *Paroi supérieure.* — La paroi supérieure de l'oreillette droite des *Didelphys* est peu développée relativement. Elle présente une concavité tournée vers la cavité, dans laquelle viennent s'ouvrir la veine cave supérieure droite et l'auricule post-aortique, au moins l'orifice supérieur de cette dernière, l'orifice inférieur formant généralement l'angle de la paroi supérieure avec la paroi interne.

L'orifice de la veine-cave supérieure droite est régulièrement circulaire. J'y ai cherché vainement chez tous les Marsupiaux américains des traces d'une valvule ; la paroi interne de la veine se continue insensiblement et dans tous les cœurs que j'ai examinés, avec la paroi interne de l'oreillette. J'ai déjà décrit les orifices de l'auricule post-aortique. Quand ces deux orifices sont confondus, et

en temps ordinaire au niveau de l'orifice supéro-externe, la veine cave supérieure droite présente une sorte de croissant musculaire qui sépare les deux ouvertures.

Les mêmes rapports existent chez les représentants australiens. Je n'ai trouvé une valvule à la veine cave supérieure que chez *Perameles*. Chez *Perameles obesula* elle était très bien constituée et insérée sur la face interne du vaisseau.

2° *Paroi inférieure.* — La paroi inférieure de l'oreillette droite des *Didelphys* est fictive puisqu'elle est représentée par l'orifice auriculo-ventriculaire. J'étudierai en détail plus loin cet orifice. Je me contenterai pour l'instant de dire que son grand axe est oblique de haut en bas, d'avant en arrière et légèrement de dedans en dehors.

La paroi inférieure ainsi comprise est identique chez tous les Marsupiaux. Elle correspond à la *paroi antérieure* de quelques anatomistes chez l'Homme.

3° *Paroi antérieure.* — La paroi antérieure est constituée par la base du coin formé par les auricules coronaire et préaortique. Elle nous présente par conséquent à considérer les orifices de ces deux auricules. Ces orifices, au nombre de deux généralement, bien délimités par la colonne principale que j'ai décrite plus haut, existent chez tous les *Didelphys* que j'ai examinés. Chez les *Macropus* le nombre des colonnes secondaires est variable et l'auricule coronaire se trouve ainsi divisée dès son orifice en plusieurs loges. Chez les *Perameles*, la réduction de la région a déjà été signalée.

4° *Paroi postérieure.* — La paroi postérieure chez *Did. cancrivora* est peu large, mais relativement haute. Elle commence à l'orifice de la veine cave supérieure droite, situé près de l'angle qu'elle forme avec la paroi supérieure et se termine à la limite inférieure de l'orifice de la veine cave supérieure gauche. Entre les deux veines caves s'étend une région plane, légèrement convexe, qui serait entièrement lisse si elle n'était percée de 2 ou trois petits *foramina* sans importance. Dans certains cas ces ouvertures manquent même complètement et la paroi postérieure reste entièrement lisse dans sa moitié supérieure. Vers le milieu de l'angle très arrondi que la paroi postérieure forme avec la paroi externe, se voit un orifice qui est l'orifice de la veine coronaire droite provenant de la région ventriculaire. J'ai constaté des différences variables dans la façon dont cette veine se termine dans l'oreillette. Dans la fig. 3, B, par exemple, elle se déverse manifestement dans la veine cave supérieure droite avant son entrée dans l'oreillette. Dans la fig, 6, A, elle

s'ouvre directement à la paroi externe, plus exactement à l'angle que forme cette paroi avec la paroi postérieure. Cette situation d'ailleurs est variable, car j'ai constaté que la veine ventriculaire droite était loin de présenter la même fixité que la veine ventriculaire gauche. Chez *Did. virginiana* en particulier, le plus souvent même elle reste, durant tout son parcours, sous-péricardique, et se déverse à la paroi inférieure de l'oreillette entre l'orifice de la veine cave inférieure et l'orifice auriculo-ventriculaire.

La moitié inférieure de la paroi postérieure de l'oreillette des *Didelphys* est importante à étudier car elle comprend les orifices des veines caves inférieure et supérieure gauche.

Les deux vaisseaux s'ouvrent l'un à côté de l'autre, mais la veine cave inférieure occupe la partie externe, et limite l'angle arrondi que la paroi externe forme avec la paroi postérieure. Elle se trouve d'autre part, sur un plan légèrement supérieur à celui de la veine cave supérieure gauche. On peut donc dire, si l'on considère l'oreillette ouverte comme le représente la fig. 6, que la veine cave inférieure est à droite (à gauche par rapport à l'observateur) de la veine cave supérieure gauche et un peu plus élevée que cette dernière.

Ces relations —, que j'ai toujours rencontrées chez les *Didelphys*, varient légèrement avec les Marsupiaux australiens. En effet, tout en restant à la paroi postérieure de l'oreillette, la veine cave supérieure peut se rapprocher plus ou moins de la veine cave supérieure droite. Chez *Macropus* par exemple, la situation est la même que chez *Didelphys*. Mais chez *Phalanger ursinus* et surtout chez *Dendrolagus ursinus* que j'ai examinés, la distance qui sépare la veine cave inférieure de la veine cave supérieure gauche est très sensible. Nous verrons qu'elle rend matériellement impossible l'existence même d'un croissant musculo-fibreux entre les deux orifices.

J'arrive à la question des valvules. L'accord est loin de se faire sur ce point. Owen, auquel nous devons une grande partie de nos connaissances sur les Marsupiaux, ne nous a rien laissé de précis à ce sujet. Carl Röse ([**40**] p. 50) dit qu'il n'a trouvé aucune trace de valvule chez *Thylacinus cynocephalus* et des vestiges à peine visibles chez *Phascolomys Wombat*. « On voit donc, écrit-il, quelques lignes « plus bas, que s'il est vrai que chez les Marsupiaux adultes le sinus « veineux avec ses valvules est considérablement réduit, il faut « remarquer qu'à l'état embryonnaire et assez longtemps on trouve « encore un sinus avec deux grosses valvules. » Voilà donc une conclusion générale tirée de l'étude des deux seuls cœurs Marsupiaux adultes que Carl Röse a eus à sa disposition.

Pour bien comprendre la disposition des valvules dans l'oreillette droite, je décrirai le type le plus compliqué, que j'ai rencontré plusieurs fois chez *Did. cancrivora*. Les cœurs, d'une taille respectable déjà (4 centimètres à 4 1/2 de hauteur) m'ont offert des orifices de 4 à 5 millimètres de diamètre dans lesquels j'ai pu suivre sans difficulté, à l'œil nu, et encore mieux à la loupe, les détails que je vais signaler. J'ai devant moi une oreillette ouverte, celle représentée fig. 6. A. La veine cave inférieure mesure 4mm de largeur sur 5mm de hauteur; la veine cave supérieure gauche, qui est presque régulièrement circulaire, mesure 5mm5 de diamètre.

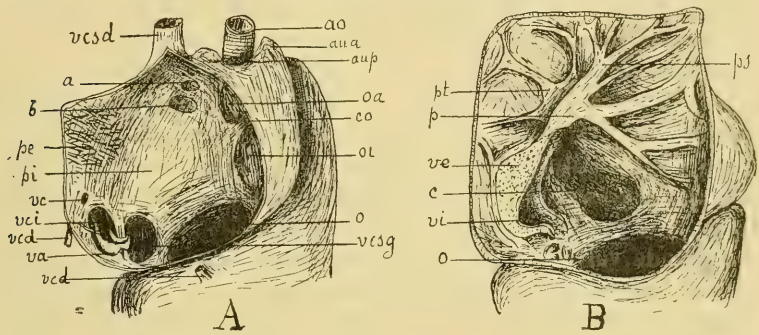


Fig. 6. — A, oreillette droite de *Didelphys cancrivora* ; B, oreillette droite d'*Apterix australis* ; *ao*, aorte ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *va*, double valvule de *Didelphys* ; *ve*, *vi*, valves interne et externe de la valvule d'*Apterix* ; *a* et *b*, orifices de communication avec l'auricule postaortique *aup* ; *oa*, entrée de l'auricule préaortique *aua* ; *oi*, entrée de l'auricule principale inférieure ; *co*, colonne séparant *oi* de *oa* ; *pi*, *pe*, parois auriculaires interne et externe ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcd*, veine coronaire droite coupée ; *vc*, son orifice dans l'oreillette ; *p*, pilier principal d'*Apterix* d'où naissent les deux valvules ; *ps*, pilier secondaire, sur le même plan ; *pt*, pilier tertiaire sur un plan plus profond ; *c*, entrée de l'oreillette proprement dite.

Entre les deux orifices se trouve une largeur de paroi de 2mm (le cœur est dans l'eau; les parois de l'oreillette non fixées flottent librement). Cette partie est bombée sans pour cela présenter un angle saillant; les deux orifices communiquent insensiblement l'un avec l'autre. Cependant, à la loupe, on voit (fig. 12, 10) un léger bourrelet arrondi et manifestement en relief qui court de haut en bas à la partie médiane de l'espace interorificiel : on dirait un petit vaisseau saillant dans l'oreillette. Ce tœnia, qui ne saurait être le « tœnia sagittalis » de Hiss, disparaît insensiblement dans la paroi

à ses deux extrémités. On pourrait donc supposer qu'il constitue la limite de séparation des deux veines caves et représente un rudiment de valvule destinée à séparer les deux vaisseaux. Cette hypothèse ne saurait être vraie que jusqu'à un certain point, car au-devant de lui et passant d'une façon absolument indéniable de la veine cave supérieure gauche à la veine cave inférieure, s'étend une valvule membraneuse très mince, qui prend insertion à son niveau. Cette valvule s'attache d'une part à la paroi interne de la veine cave inférieure, d'autre part à la paroi externe de la veine cave supérieure gauche. En ce dernier point, la paroi ventriculaire se détache sous forme d'une baguette musculaire qui donne naissance par son bord libre à deux voiles membraneux très minces dont le premier se dirige vers la paroi interne de la veine cave inférieure (c'est la valvule que je viens de décrire), et l'autre traverse toute la lumière de ladite veine cave pour aller s'insérer à sa paroi externe.

Ainsi se constituent deux valvules à la veine cave inférieure, une externe très grande et une interne de moitié au moins plus petite.

La grande valvule — l'externe, — après s'être détachée de la languette musculaire de la paroi, passe en pont au devant de la formation vermiforme, qui lui envoye un petit pilier tendineux. La base de la valvule ne tarde pas à s'insérer sur la paroi inférieure de la veine cave inférieure et cette insertion se prolonge assez loin sur la paroi externe. Son bord libre, au contraire, probablement à cause de la longue distance qui sépare ses deux extrémités, est relié vers son tiers externe, à la paroi externe de l'oreillette (ce n'est plus la paroi de la veine cave inférieure) par une colonne membraneuse assez longue.

Sans aucun doute par conséquent, nous devons admettre l'existence de cette double valvule. Mais il ne serait pas sans intérêt de savoir à quoi correspond la formation vermiforme que j'ai signalée plus haut. Pour moi, la veine cave supérieure gauche se prolonge jusqu'à l'insertion interne des deux valvules. Cette formation se trouve donc complètement dans la veine cave inférieure. Je ne saurais alors mieux la comparer qu'à ces piliers membraneux qui unissent chez les Poissons, les parois des vaisseaux aux valvules qui s'y insèrent.

Chez *Didelphys crassicaudata*, j'ai trouvé la double valvule telle que je viens de la décrire, bien constituée. Chez *Did. opossum*, *Did. philander*, etc., la grande valve est moins étendue et la petite à

peine perceptible. Chez *D. virginiana*, j'ai trouvé cette valve externe bien développée, mais je n'ai jamais rencontré de formation vermiforme et la valvule interne, à peine visible dans quelques cœurs, était le plus souvent absente.

Chez les Marsupiaux australiens les orifices des veines caves sont beaucoup plus simples.

Chez *Phascolomys ursinus* — (comme Carl Röse) — *Perameles* et *Phalanger*, je n'ai pas trouvé de valvules rappelant celles des *Didelphys*.

Chez *Macropus*, il n'y a pas de valvule proprement dite, mais il existe entre la veine cave supérieure gauche et la veine cave inférieure un repli musculo-membraneux à peine saillant, plutôt étalé, et allongé obliquement entre les deux vaisseaux, de bas en haut et de dedans en dehors.

Je peux donc conclure que chez les *Didelphys* américains seuls, parmi les Marsupiaux adultes, la double valvule de la veine cave inférieure, telle qu'elle existe chez les Oiseaux et les Reptiles, a été conservée. Elle peut être homologuée, à la formation que nous trouverons plus tard chez les Vertébrés inférieurs d'une part, chez les Placentaires d'autre part ; mais chez ces derniers, les deux valvules seront plus ou moins écartées (l'une disparaissant le plus souvent même au détriment de l'autre), sous les noms de valvule d'Eustache et de valvule de Thébésius. La veine coronaire gauche finit en effet par déboucher directement dans l'oreillette chez les animaux qui n'ont plus de veine cave supérieure droite.

Les Marsupiaux, tels que les Kanguroos, dont les membres postérieurs sont plus développés que les antérieurs, possèdent, comme l'avait remarqué Owen, une veine cave inférieure plus large que la veine cave supérieure droite, contrairement à ce qui existe généralement chez les autres espèces.

Avant de quitter la paroi postérieure de l'oreillette droite, je dirai que le sinus veineux n'existe plus chez les Marsupiaux. Chez les *Didelphys*, c'est à peine si on peut en reconnaître le vestige. Carl Röse n'avait pas examiné un nombre suffisant de cœurs pour pouvoir généraliser cette observation.

5° *Paroi externe.* — La paroi externe de l'oreillette droite est la plus grande des six, comme on pouvait le prévoir à la simple inspection extérieure de la face droite de l'organe. Elle est mince et en grande partie lisse chez les *Didelphys*, en particulier chez les petites espèces. Elle est parcourue dans tous les sens et plus spécialement transversalement par des colonnes musculaires charnues

plus ou moins saillantes. Chez les *Macropus*, ces colonnes partent à gauche de la grosse masse musculaire qui donne naissance aux colonnes des auricules. Elles vont rejoindre à droite une seconde masse musculaire épaissie qui limite en dehors l'orifice de la veine cave supérieure droite et se perd au dessus de la veine cave inférieure.

C'est dans cette paroi externe, près de son angle postérieur, que s'ouvre souvent la veine ventriculaire droite qui passe en pont et librement au devant du sillon auriculo-ventriculaire, chez *Didelphys cancrivora* par exemple.

6° *Paroi interne.* — La paroi interne de l'oreillette droite n'est autre chose que la cloison interauriculaire (*septum atriorium* des auteurs allemands).

On sait, et c'est Owen qui l'a donné comme caractère constant des Marsupiaux, que cette cloison ne présente jamais chez ces animaux rien qui rappelle le trou ovale et l'anneau ovale de l'Homme et des Mammifères placentaires. Owen expliquait ce phénomène en se basant sur le temps relativement court que l'embryon passe dans l'utérus de la mère, toute communication des deux oreillettes entre elles devant disparaître avec l'apparition de la respiration pulmonaire.

Tant que l'embryologie n'avait pas indiqué le mode de formation de la cloison interauriculaire des Vertébrés on pouvait discuter sur le sujet. Sabatier [41] a exprimé ses idées sur l'histoire de cette cloison en décrivant dans de longues pages pleines de précision ce qu'il a constaté dans les différents groupes qu'il a étudiés. Lindes [36] Born [25], Selenka [44], Hochtetter [32] ont montré que dans les embryons de Mammifères comme dans ceux d'Oiseaux, il existait non pas un trou ovale, mais une quantité plus ou moins grande de pertuis faisant communiquer les deux oreillettes du fœtus. J'indiquerai plus loin, en décrivant la cloison interauriculaire du Cabiai (*Hydrochœrus capibara*), combien cette découverte simplifie l'explication du fait anatomique que j'ai observé.

La face interne de l'oreillette de *Didelphys* est très réduite. Généralement lisse, elle peut présenter quelques petits *foramina* sans importance. Je n'ai, comme tous les auteurs qui ont étudié les Marsupiaux, jamais rencontré quoi que ce soit qui pût ressembler à un trou ovale. D'ailleurs dans toutes les coupes du cœur, soit transversales, soit longitudinales, que j'ai examinées, jamais la cloison interauriculaire ne m'a montré une différence de constitution en un point quelconque de son épaisseur qui est relativement considérable et la

même partout. Je n'ai jamais pu trouver dans mes préparations de traces d'anciennes perforations. Carl Röse ([40] p. 71) cependant dit que sur des cœurs de Marsupiaux adultes on peut encore nettement reconnaître ces traces : la couche musculaire serait interrompue par des tractus conjonctifs transversaux. Il ne dit pas quels cœurs il a examinés ; ce ne sont probablement pas ceux d'espèces américaines adultes que j'ai étudiées.

Avant de quitter l'oreillette des Marsupiaux, je signalerai enfin la tendance que la veine ventriculaire gauche présente chez les grosses espèces, et en particulier chez les espèces australiennes : son orifice s'isole de plus en plus de la veine cave et se rapproche de l'orifice auriculo-ventriculaire. On sent déjà qu'elle prend une certaine importance — futur sinus coronaire des Placentaires dès que la veine cave supérieure gauche aura disparu.

Monotrèmes.

Dans ses grandes lignes, l'oreillette droite des Monotrèmes présente beaucoup de rapports avec l'oreillette droite des Marsupiaux. Elle est cependant plus grande que chez ces derniers, toutes choses égales d'ailleurs.

L'orientation est sensiblement la même et la forme en dôme a peu varié. La région des auricules est très développée et rappelle celle des Didelphes américains. Mais à l'extérieur nous ne trouvons plus aussi nette cette bifurcation qui caractérisait les Marsupiaux. Au niveau de l'aorte il existe une légère encoche chez *Echidna* au dessus de laquelle l'oreillette se continue dans toute sa largeur. La pointe ainsi délimitée devant l'aorte, quoique peu prononcée, rappelle l'auricule préaortique des Marsupiaux. Chez *Ornithorhynchus* au contraire, l'aorte divise l'oreillette en deux lobes bien distincts et très développés qu'on pourrait considérer sans exagération comme une auricule préaortique et une auricule postaortique. Mais, si nous pénétrons dans la cavité de ces lobes, nous ne trouvons rien qui ressemble à ce que j'ai décrit chez les Marsupiaux. Il existe bien une colonne de séparation au niveau du sillon creusé par l'aorte, mais la loge qu'elle délimite derrière l'artère n'est que l'infundibulum en quelque sorte de la veine cave supérieure droite.

Je vais méthodiquement passer en revue les six parois de la cavité auriculaire, car pour faciliter les comparaisons, nous pouvons considérer l'oreillette des Monotrèmes comme une cavité cubique ainsi que je l'ai fait pour les Marsupiaux.

1° La *paroi supérieure* bombée et étroite comprend l'orifice circu-

laire de la veine cave supérieure droite comme chez les Marsupiaux. Mais tandis que chez ces derniers nous n'avions jamais rencontré de valvule, sauf le cas de *Perameles* que j'ai cité, chez les Monotrèmes au contraire l'orifice de la veine cave supérieure droite est garnie d'une valvule très nette; peu développée chez *Ornithorhynchus* quoique visible, mieux développée chez *Echidna*. Carl Rose ([**40**] p. 49) décrit chez les Monotrèmes un système de valvule complet d'une disposition spéciale : l'Echidné et les deux Ornithorhynques qu'il a examinés possédaient une double valvule qu'il représente fig. 19 de sa planche V. Cette valvule enveloppe successivement la veine cave supérieure gauche, la veine cave inférieure et la veine cave supérieure droite ; elle est continue et dans l'espace qui sépare deux de ces vaisseaux les deux valvules se rapprochent sans se confondre.

J'ai examiné trois cœurs d'*Echidna* et deux d'*Ornithorhynchus* ; dans aucun d'eux je n'ai rencontré cette disposition en chapelet. J'expliquerai dans un moment comment on pourrait comprendre de cette façon les valvules, telles que Carl Röse les décrit.

2° *La face inférieure*, comme chez les Marsupiaux, est fictive, car elle est constituée par l'orifice auriculo-ventriculaire que j'étudierai plus loin. Cet orifice, qui est plus arrondi que celui des Marsupiaux, est sensiblement transversal chez *Echidna*, tandis que chez *Ornithorhynchus*, il est situé dans un plan légèrement oblique de haut en bas, de gauche à droite et de dedans en dehors.

3° *La face antérieure* est constituée par la région des auricules. En somme, il n'y a qu'une auricule, qui correspondrait à l'auricule que j'ai appelée *coronaire* chez les Marsupiaux. Elle est profonde et très développée, constituée par des colonnes musculaires de moyenne dimension provenant de la masse musculaire épaisse qui constitue le pourtour de l'orifice auriculo-ventriculaire.

Toutes ces colonnes sont dirigées dans le même sens, de bas en haut et de dedans en dehors, de telle sorte que les loges délimitées sont régulièrement orientées, comme nous le verrons chez les Vertébrés inférieurs, au lieu de constituer un tissu aréolaire irrégulier, comme chez les Marsupiaux et les Mammifères placentaires.

Une de ces colonnes située près de l'angle supérieur de la paroi antérieure est plus développée que les autres et délimite en dessous d'elle aussi bien chez *Echidna* que chez *Ornithorhynchus* une cavité qui pourrait être comparée, sans pourtant lui être homologuée, à l'auricule préaortique des Marsupiaux.

4° La *paroi postérieure* est plus haute que large et peut être divisée, comme chez les Marsupiaux, en deux moitiés : une moitié

inférieure dans laquelle s'ouvrent la veine cave inférieure et la veine cave supérieure gauche, et une supérieure, sans orifice, mais non unie comme chez les Marsupiaux.

Les deux veines caves ont sensiblement les mêmes rapports que chez les Marsupiaux. La veine cave supérieure gauche, qui est

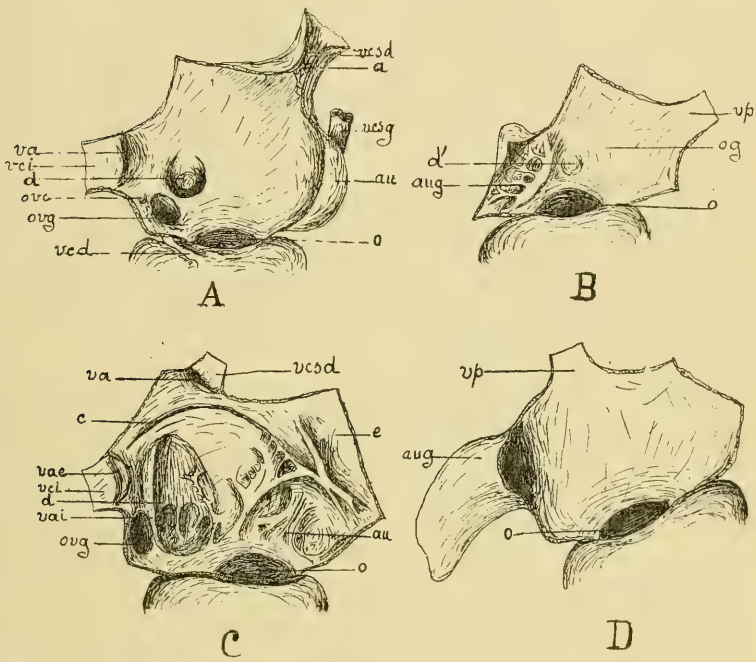


Fig. 7. — A, oreillette droite ; B, oreillette gauche d'*Ornithorhynchus paradoxus* ; C, oreillette droite ; D, oreillette gauche d'*Echidna hystrix* ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *ovg*, orifice de la veine cave supérieure gauche ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcd*, veine coronaire droite ; *ovc*, son orifice ; *au*, auricule droite ; *aug*, auricule gauche ; *va*, valvule ; *a*, tissu aréolaire représentant cette valvule chez ornithorhynque ; *c*, colonne transversale ; *d*, infundibulum de la paroi interne ; *d'*, sa dépression sur la paroi interne de l'oreillette gauche *og* ; *vp*, veine pulmonaire ; *e*, paroi externe de l'oreillette droite.

obligée de contourner le cœur, vient se déverser dans l'oreillette au dessus et en dehors de la veine cave inférieure. Les deux orifices sont sensiblement circulaires et de même diamètre à peu de chose près.

Comme pour les Marsupiaux, on est loin d'être d'accord sur

l'existence et la disposition des valvules qui entourent ces orifices. Carl Röse en trouve une comme aux trois veines caves.

Voici ce que j'ai observé chez Echidna : comme le montre la fig. 7, C, la veine cave supérieure présente une valvule externe, tandis que la veine cave inférieure ne possède qu'un croissant musculo-membraneux externe. Mais en dedans, c'est-à-dire à l'angle que forme la paroi supérieure avec la paroi interne, une grande valvule épaisse et solide s'étend verticalement de haut en bas et d'avant en arrière, avec une légère obliquité en dedans. Nous verrons en étudiant la paroi interne qu'elle délimite une cavité spéciale. Quoi qu'il en soit, les deux extrémités de cette valvule sont excessivement nettes et donnent comme hauteur à la valvule la somme des diamètres des deux veines caves qu'elle est destinée à protéger. Chez *Echidna* on peut donc dire que chaque veine cave a une valvule externe propre et une valvule interne commune. J'ai retrouvé cette même disposition dans mes trois cœurs d'*Echidna* ; dans l'un deux la valvule externe de la veine cave inférieure, comme je l'ai déjà signalé, était peu développée.

Au dessus de la veine cave inférieure et près de l'insertion supérieure de la valvule externe, on aperçoit une formation spéciale que je n'ai pas rencontrée dans d'autres cœurs. C'est une lame mince, en relief dans la cavité de l'oreillette, très peu adhérente à la paroi et constituée par un tissu musculaire très lâche. Elle se dirige en avant en suivant la ligne courbe que représente l'angle de la face supérieure avec la face interne, et va se perdre dans les colonnes de l'auricule (fig. 7 C, *c*). Quand les parois ne sont pas étalées, cette lame semble continuer directement la valvule commune déjà décrite. J'aurais pu la prendre, comme le fait Carl Röse, pour une valvule commune aux trois veines caves. Mais à cause des filets musculaires qui rayonnent à son extrémité postérieure, cette formation semblerait plutôt jouer le rôle des muscles tenseurs des valvules décrits par le même auteur chez les Vertébrés inférieurs.

Dans l'un des deux cœurs d'*Ornithorhynchus* que j'ai examinés les choses étaient plus simples, comme le montre la fig. 7 A. La valvule commune interne était représentée par un simple rebord musculo-membraneux saillant de l'infundibulum de la paroi interne.

Quant à la lame musculaire recourbée d'*Echidna* elle n'existait pas du tout ; dans le deuxième cœur elle était présente, mais beaucoup moins saillante que chez *Echidna*.

Entre les deux veines caves, se voit chez *Ornithorhynchus* l'orifice de la veine coronaire droite, provenant du ventricule droit dont

elle se détache pour passer en pont au-dessus du sillon auriculo-ventriculaire, comme chez les *Didelphys*.

5° La *paroi externe* de l'oreillette droite est mince et très grande. Elle est sillonnée de distance en distance par des colonnettes musculaires de petite taille qui proviennent de l'auricule. Elle ne présente rien de particulier.

6° *La paroi interne* est beaucoup plus compliquée que celle des Marsupiaux. Loin d'être épaisse comme chez ces derniers, elle est très mince chez les Monotrèmes. Chez *Ornithorhynchus*, elle est plus simple que chez *Echidna*. Chez ce dernier, les colonnes musculaires de l'auricule viennent en effet s'y étaler et se divisent en colonnes secondaires dirigées vers la paroi supérieure.

J'ai rencontré dans les cinq Monotrèmes que j'ai étudiés, une région *d* (fig. 7, A et C), déprimée et profonde qu'on pourrait prendre, si ce n'était sa situation, pour l'orifice d'une auricule, tant il y a d'analogie entre les deux. Chez *Echidna*, où cette cavité est plus compliquée, on y trouve des colonnes musculaires ramifiées comme dans l'auricule. D'autre part, la cavité est plus grande que chez *Ornithorhynchus*. Chez les deux, le fond de cette région est excessivement mince et correspond à une plaque membraneuse que je décrirai avec l'oreillette gauche, en particulier chez *Ornithorhynchus*, où elle est excessivement nette.

Peut-on dire que c'est là une fosse ovale ? Je ne me hasarderais à l'affirmer que si je retrouvais la même formation chez un grand nombre de cœurs de Monotrèmes.

Tout cependant me porte à croire que la présence d'une fosse ovale n'est pas aussi invraisemblable que veulent le dire Lankester et Carl Röse. Comme je le décrirai plus loin chez un cabiai (*hydrochœrus capibara*) la communication entre les deux oreillettes peut avoir lieu en dehors de la fosse classique qui, d'ailleurs, est souvent à peine distincte même chez certains Placentaires. Certainement, la formation que Meckel et Owen considèrent comme une fosse ovale chez l'ornithorhynque n'est pas identique à la fosse ovale des Mammifères supérieurs. Mais, par sa forme, son aspect, ses rapports, elle doit être considérée à mon avis comme son homologue, ce qui rapprocherait plus les Monotrèmes que les Marsupiaux des Mammifères supérieurs, quand on se place à ce point de vue spécial.

Mammifères placentaires.

Je ne crois pas devoir reprendre en détail la description de l'oreillette des Placentaires. Elle est connue depuis longtemps dans

ses grandes lignes et on sait que si la disparition de la veine cave supérieure gauche est la règle, beaucoup de Rongeurs, de Chiroptères, l'Eléphant, le Porc-Épic, etc., l'ont conservée. Je n'insisterai donc que sur certains points encore en litige, tels que les valvules des veines caves et le trou ovale. Je ne m'étendrai pas non plus sur l'auricule qui est réduite à une simple cavité dont l'ouverture dans l'oreillette est large et apparente, — ce qui a permis à Sabatier et à plusieurs anatomistes de diviser l'oreillette droite en deux chambres. Je mentionnerai cependant la remarque que j'ai faite dans tous les cœurs que j'ai étudiés : la colonne musculaire de séparation des auricules coronaire et pré-aortique des Marsupiaux n'a pas totalement disparu et souvent elle délimite encore une loge importante, j'en conviens, mais dont la présence indique que l'auricule ordinaire des Placentaires est formée par la fusion des deux auricules antérieures des Marsupiaux. Le fait est d'autant plus curieux à noter que ce sont précisément les animaux à auricule plus développée qui présentent cette particularité avec tendance extérieure à un lobe préaortique. Dans certaines espèces, au contraire, comme le Dromadaire, la cavité de l'auricule a presque totalement disparu.

La veine cave supérieure droite (ou plus simplement la veine cave supérieure, chez les espèces privées de la veine gauche), est toujours située au-dessus de l'oreillette, de plus en plus en avant, son orifice se déplaçant le long de la paroi supérieure pour se rapprocher de l'ouverture de l'auricule. Sabatier, dans sa thèse bien documentée cependant, a écrit et répété « qu'il y avait absence complète de valvule dans la veine cave supérieure de tous les Mammifères » ([**41**] p. 177). Carl Röse est moins affirmatif et se contente de nous prévenir que « l'orifice de la veine cave supérieure ne présente chez les Mammifères *qu'exceptionnellement des vestiges* de valvules ». J'avoue que je reste entre les deux opinions, car ou bien, et c'est le cas ordinaire, je n'ai rien trouvé qui pût rappeler même les vestiges d'une valvule, ou bien exceptionnellement comme chez la Loutre (*Lutra brasiliensis*) et le Tamandou (*Myrmecophaga tetradactyla*), j'ai rencontré une valvule bien développée. Chez le fourmilier auquel je fais allusion, cette valvule, très nette, était le prolongement direct de la valvule externe, très développée, de la veine cave inférieure ; elle coiffait le bord interne de l'orifice. Chez la Loutre, la valvule de la veine cave supérieure était encore plus développée, car elle était double, avec une valve externe, l'autre interne, partant d'un point commun de la paroi inférieure de la veine.

Je crois donc qu'il est plus exact de se prononcer sur l'existence de cette valvule en disant que *chez les Mammifères — et j'englobe en ce moment les Implacentaires* (1) *à côté des Placentaires — la veine cave supérieure manque généralement de valvule, mais que souvent cette valvule existe.*

La distance qui sépare la veine cave supérieure de la veine cave inférieure est relativement considérable et on ne peut guère chercher de valvule les séparant. C'est dans cet espace que se trouve la bande vasculaire signalée par Hiss sous le nom de « tœnia sagittalis. »

La face postérieure de l'oreillette droite peut présenter trois aspects : 1° il existe en même temps que la veine inférieure une veine cave supérieure gauche et une veine coronaire ; 2° la veine coronaire se déversant directement dans la veine cave inférieure, il n'existe que les deux veines caves ; 3° et c'est le cas le plus fréquent, la veine cave supérieure gauche a disparu et il ne reste plus que la veine cave inférieure et la veine coronaire.

Ici encore la question de valvules n'est pas complètement élucidée. Sabatier, p. 177, dit : « En réalité, la valve interne (de « la valvule des veines caves inférieure et supérieure des Oiseaux) a « tout à fait disparu chez les Mammifères adultes et il ne reste que « la valve externe atrophiée. » Carl Röse, p. 51, en précisant les « rapports de la valvule interne de *Dasypus* avec la cloison inter- « auriculaire, écrit « qu'il n'a aucun intérêt à chercher chez les autres « Mammifères, car les mêmes rapports doivent exister que chez « l'Homme ». Et un peu plus loin pourtant il conclut que « chez « tous les Mammifères placentaires, à l'exception des Edentés, la « valvule gauche du sinus est confondue avec le septum atriorum « et constitue la limite postérieure du trou ovale ; ce n'est que « secondairement, comme chez le Lapin, qu'on trouve une valvule « gauche libre non confondue avec le septum atriorum ». (p. 52).

Les quelques observations que je vais présenter maintenant contribueront, je pense, à éclairer la question.

Chez *Globiocephalus globiceps*, l'ouverture de la veine coronaire est très rapprochée de la veine cave inférieure. Entre les deux il n'existe qu'un simple épaississement en croissant de la paroi et rien ne ressemble à une valvule.

Chez *Myrmecophagate tradactyla*, j'ai trouvé dans les trois cœurs

(1) L'expression « *implacentaire* » est devenue impropre en classification depuis que Hill [140] a trouvé un placenta primitif chez *Perameles* et *Dasyurus*. Je l'emploie par abréviation, pour opposer les Mammifères inférieurs aux Placentaires.

que j'ai examinés un jeu complet de valvules : la veine cave inférieure présente deux valvules très grandes, l'interne un peu moins développée que l'externe, réunies à leur partie supérieure. La valvule externe se prolonge au devant de la veine coronaire de façon à lui former une valvule spéciale dans laquelle l'élément musculaire est plus développé que dans les autres valvules. Dans l'un des trois spécimens, cette valvule prend un développement considérable et va, comme je l'ai déjà indiqué plus haut au sujet de la veine cave supérieure, constituer une barrière large et puissante à cette dernière ; en bas, entre la veine cave inférieure et la veine coronaire, elle est reliée à la paroi interne par un fort cordon membraneux.

Toujours chez les Edentés, Born chez *Myrmecophaga jubata*, Carl Röse chez *Dasypus*, ont trouvé également deux valvules ; chez *Dasypus* la valvule externe se prolonge jusqu'à la valvule de Thébésius.

Chez le Porc, le Mouton et le Veau je n'ai pas trouvé de valvule d'Eustache. La valvule de Thébésius est bien développée chez le Mouton et le Porc où elle est musculo-membraneuse.

Chez le Dromadaire, la veine cave inférieure est séparée de la veine cave supérieure d'une part et de la veine cave coronaire d'autre part, par deux croissants fibro-musculaires tranchants. Il n'existe pas de valvule proprement dite.

Quoique Meckel (1) ait écrit qu'il n'y a pas de valvule chez *Cœlogenys paca*, j'ai régulièrement rencontré cette formation dans tous les cœurs de Pacs que j'ai examinés.

La veine cave inférieure et la veine cave supérieure gauche sont protégés à leur partie externe par une valvule épaisse, musculo-membraneuse au niveau de son insertion, et peu étendue. Il semble qu'il y ait une seule valvule externe pour les deux vaisseaux. Il n'en est rien, car à sa partie médiane ce voile vient se confondre avec la paroi tranchante commune des deux vaisseaux.

Chez *Lutra brasiliensis* la valvule externe de la veine cave inférieure est bien développée et se prolonge en bas pour donner une valvule de Thébésius.

La double valvule du Lapin est suffisamment connue.

Chez le Jaguar (*felis onca*) la veine cave inférieure représente le seul orifice des trois que nous avions coutume de rencontrer, car la veine coronaire s'y déverse avant son ouverture dans l'oreillette. J'ai trouvé une double valvule dont la valve interne est peu développée; la valve externe musculo-membraneuse n'est pas d'ailleurs très grande.

(1) Meckel. — *Anatomie comparée*, t. IX, p. 388.

Chez l'Aïra (*felis eyra*), les choses sont encore plus simples : il n'y a aussi qu'une ouverture à la base de la paroi postérieure de l'oreillette, et cette ouverture n'est protégée par aucune valvule.

Chez le Capiaïe ou Cabiai au contraire (*Hydrochœrus capibara*) la veine coronaire reprend sa place au dessous et en dehors de la veine cave inférieure. Elle possède une valvule de Thébésius excessivement développée qui remonte le long du bord externe de la valvule externe de la veine cave inférieure à laquelle elle est soudée sur la moitié supérieure de son trajet. Elle passe au dessus d'elle ensuite pour aller se perdre dans la moitié supérieure lisse de la paroi postérieure de l'oreillette.

La valvule externe de la veine cave inférieure est immense et son insertion s'avance sur la paroi interne de l'oreillette jusqu'à un orifice que je décrirai plus loin. En dedans d'elle et comme lui faisant suite, un épaississement circulaire de la cloison, l'anneau ovale certainement, délimite une fosse ovale membraneuse.

La valvule interne est aussi très développée mais moins large que l'externe. Elle s'insère sur la paroi gauche de la veine cave inférieure et sa concavité regarde en haut et en avant. Un léger bourrelet musculaire à peine saillant part de son sommet et se dirige en avant en suivant une ligne courbe à concavité inférieure qui limite l'entrée de la veine cave supérieure dans l'oreillette, sur la paroi interne, et marque la place qu'aurait occupée la valvule de cette veine cave si elle avait existé autrement que par ces traces légères.

Chez deux Singes que j'ai examinés (*Cercocebus œthiops* et *Cercopithecus sabœus*) j'ai rencontré une valvule d'Eustache très développée ainsi que la valvule de Thébésius qui était musculo-membraneuse.

On voit par l'examen de ces quelques cœurs pris au hasard dans chacun des ordres des Mammifères placentaires, que la valvule d'Eustache et la valvule de Thébésius, voire même la valvule interne complète du sinus veineux des Vertébrés inférieurs, se retrouvent assez communément chez les Vertébrés supérieurs. Je peux donc dire que *chez les Mammifères — je comprends les Placentaires et les Implacentaires, — la valvule des sinus veineux des Oiseaux et des Reptiles, se retrouve généralement.*

Chez l'Homme d'ailleurs, quoique souvent peu développée, j'ai toujours rencontré la valvule d'Eustache. Il est rare que la valvule de Thébésius manque et l'on sait que ces deux formations sont très développées chez le fœtus.

Les découvertes embryogéniques de ces dernières années ont jeté

un jour nouveau sur la façon dont nous devons comprendre le trou ovale. Ce n'est que lorsque l'on a étudié la paroi externe de l'oreillette gauche que l'on peut utilement discuter la question de la cloison interauriculaire. Jusqu'à présent en effet, comme on a pu le constater, je n'ai pas parlé de l'anneau de Vieussens qui semble être pourtant de formation ancienne. Je me contenterai pour le moment d'indiquer les remarques que j'ai faites au sujet de l'emplacement, de la forme et de la dimension du trou ovale chez les Placentaires. J'emploierai jusqu'à nouvel ordre cette expression de « trou ovale » qui est inexacte cependant, de préférence à celle de « trou de Botal » à cause de l'idée fausse de formation primaire qu'on a coutume d'accorder à cette dernière. On sait d'autre part que ce n'est pas à Botal qu'on doit sa découverte.

L'existence de la fosse ovale est caractéristique, comme on l'admet depuis longtemps, du cœur des Mammifères placentaires. Mais, ce que je voudrais faire ressortir c'est que contrairement à l'opinion généralement adoptée, cette formation, quoique constante, n'est pas identique chez tous les animaux qui la possèdent. En jetant un coup d'œil d'ensemble en effet sur mes préparations, j'ai été frappé de l'irrégularité d'emplacement de ce trou ovale et de la variété de ses rapports et de ses caractères. Souvent je me suis demandé où il se trouvait, et ce n'est que par un examen attentif et méticuleux que je suis arrivé à le reconnaître. C'est dire tout d'abord que ses limites sont loin d'être précises.

Chez l'Homme, et dans la majorité des cas, on a l'habitude de trouver une membrane mince qui tranche par son aspect sur le reste de la paroi interne de l'oreillette. D'autre part, si sur une partie de son contour la membrane qui la constitue se continue directement avec la paroi, sans transition nette, du moins sur une certaine étendue, généralement à sa partie supérieure et antérieure, il est difficile à l'œil le moins expérimenté de ne pas reconnaître le rebord saillant classique de l'anneau de Vieussens. La dépression est sensible alors même que l'on ne pourrait glisser un manche de scalpel ou une simple sonde dans le repli ainsi constitué.

Tout près de l'Homme, chez les Singes, l'aspect ne change guère et chez la Guenon grivet et le Cercocèbe à collier que j'ai étudiés, il est impossible de ne pas reconnaître une « fosse ovale ».

Déjà, cependant, il existe une légère différence. Si l'anneau de Vieussens est bien délimité dans les deux cas, la membrane elle-même, qui était unie et continue chez le Cercocèbe, est traversée dans toute sa hauteur par un pont fibreux qui indique que le trou

en question formait en réalité « deux trous ». On sait que cette disposition peut varier à l'infini et présenter l'aspect d'une véritable écumoire — dont les trous seraient fermés, entendons-nous, par un pont endocardique.

Chez le Tamandou, quoique nous soyons en présence d'un Edenté, c'est-à-dire d'un ordre de Placentaires inférieurs, la fosse ovale présente la même disposition que chez l'Homme, avec un anneau de Vieussens très bien délimité.

A côté de ces cas, je constate que le Jaguar, l'Aïra, la Loutre brésilienne m'offrent un trou ovale très réduit, mais en revanche excessivement net. L'anneau de Vieussens ne paraît pas exister ; la membrane seule tranche par son aspect sur la paroi de l'oreillette et on peut lui reconnaître une limite régulière. Chez la Loutre brésilienne, je suis en présence de deux cœurs où je reconnais un trou ovale régulièrement circulaire, à bord tranchant, comme frappé à l'emporte-pièce, de telle sorte que les deux oreillettes communiquent librement. Je dois dire que j'ai eu très souvent l'occasion de rencontrer pareille communication chez les Mammifères. On sait que chez l'Homme la persistance du trou ovale n'est pas rare chez l'adulte et passe souvent inaperçue.

Un cas des plus intéressants est celui que j'ai rencontré chez le Cabiai *(Hydrochœrus capibara)*. Vers le centre de la paroi interne on aperçoit un orifice elliptique assez large, dont le grand diamètre est dirigé de haut en bas et d'arrière en avant, de telle sorte que la lumière de l'ouverture au lieu de se présenter face à l'observateur regarde en arrière et légèrement en bas. Cet orifice commence au point où s'arrête la valvule externe de la veine cave inférieure. En haut et en avant il se continue avec la paroi interne de l'oreillette, son bord antérieur étant légèrement tranchant. En arrière, il est limité par une bande assez large, de forme arquée, à concavité tournée en arrière et dont les deux branches se dirigent vers la lumière de la veine cave inférieure où elles se rapprochent de façon à circonscrire un disque membraneux mince et transparent. Ainsi se forme un anneau très net qui présente tous les caractères de l'anneau de Vieussens limitant une fosse ovale.

Dans cet orifice, j'insinue un stylet qui pénètre d'abord librement, mais je sens bientôt une résistance. Je retourne le cœur afin de voir quelle est la cause de cette résistance, et je trouve dans l'oreillette gauche, insérée à la paroi interne, c'est-à-dire à la cloison interauriculaire elle-même, une valvule puissante que je décrirai plus loin au chapitre de l'oreillette gauche. Cette valvule

musculo-membraneuse s'applique fortement sur l'orifice de communication qu'elle cache entièrement. En bas et en avant de la valvule, se voit une membrane arrondie qui paraît être la dépression ovale.

Nous sommes donc en présence de la question suivante : où est le véritable trou ovale ? Si je me base seulement sur la définition de l'expression — orifice de communication entre les deux oreillettes, — je n'hésite pas à répondre que c'est le trou dans lequel j'ai enfoncé ma sonde. Mais cette autre formation circulaire, protégée en partie par la valvule interne et limitée par cet anneau que je n'aurais pas hésité à nommer anneau de Vieussens dans un cœur normal, comment l'appellerai-je ?

Ne présente-t elle pas tous les caractères d'une fosse ovale, aspect, forme, caractères, emplacement ? Que devient dans ces conditions l'anneau de Vieussens, anneau classique consacré par tant de générations scientifiques ?

On m'objectera probablement que le trou de communication dans lequel j'ai laissé ma sonde doit être une formation pathologique. A cela je répondrai que je ne le pense pas, d'abord parce qu'il est trop régulier, ensuite parce que la nature n'aurait pas, chez un animal adulte, inventé une valvule pour protéger un orifice fortuit.

J'ai longuement insisté sur ces détails parce que je crois y trouver l'explication anatomique des faits que nous a révélés l'embryogénie. Je pense en effet, que si les perforations en nombre quelconque, mettons-en une comme c'est le cas ordinaire chez l'Homme, se font généralement dans la région délimitée par ce qu'on est convenu d'appeler l'anneau ovale ou anneau de Vieussens, la nature ne suit là qu'une loi tracée par l'hérédité, mais qu'elle n'est nullement tenue de respecter. Et j'explique ainsi pourquoi je faisais des difficultés pour admettre l'expression ordinairement adoptée de « trou ovale. » En maintenant cette appellation, l'on serait tenté de penser que la perforation, ou les perforations, doivent fatalement se produire dans la zone limitée par l'anneau ovale ou anneau de Vieussens. Ce serait contraire au fait que je viens de signaler et contraire à l'embryogénie, à moins d'admettre que cet anneau de Vieussens n'est pas une formation primaire ancienne, mais une simple bande de protection développée postérieurement dans le seul but de servir de bordure au trou ovale.

Born et Carl Röse, s'appuyant sur le développement embryogénique, ont aussi proposé de rejeter l'expression de « trou ovale »

consacré par l'usage. Born voudrait le remplacer par « Ostium II »; mais Carl Röse invoque les cas de perforations multiples et propose « *foramen* », qui deviendrait « *foramina* » s'il y a plusieurs trous.

Sans donner exactement les mêmes raisons que ces deux auteurs, je suis arrivé à la même conclusion. Milne-Edwards (1), se basant sur ce que Botal n'avait pas découvert le premier l'orifice qui porte son nom, avait proposé de ne plus conserver l'expression consacrée « trou de Botal » et de le remplacer par « trou ovale » ou « pertuis interauriculaire ».

Je pense que cette dernière désignation est excellente et convient mieux dans la circonstance. Au lieu de chercher un mot nouveau qui ne servirait qu'à jeter un peu plus de confusion dans nos descriptions, je suis donc d'avis d'appeler « *pertuis interauriculaire* », l'orifice de communication entre les deux oreillettes. Dans la suite de ce travail, c'est ainsi que je désignerai cette ouverture.

Oiseaux.

L'oreillette droite des Oiseaux présente de notables différences avec celle des Mammifères.

Déjà à l'extérieur on peut constater que la veine cave supérieure droite, qui, comme nous l'avons vu chez les Placentaires, avait une tendance manifeste à se porter en avant, conserve une situation plus postérieure chez les Oiseaux. Les Implacentaires tiennent le milieu entre les deux groupes. La raison principale de cette déviation est la présence de la crosse aortique droite qui, chez les Oiseaux, a remplacé l'aorte gauche des Mammifères. D'autre part, si l'oreillette reste toujours au dessus du ventricule, son axe a changé légèrement de direction et s'est reporté plus en arrière, de sorte que les veines caves se déversent dans une sorte d'antichambre que nous rencontrons pour la première fois chez les Oiseaux. Cela tient à l'existence d'un sinus veineux manifeste que les Oiseaux ont hérité des Reptiles. Sabatier et Carl Röse ont beaucoup insisté sur la disposition de ce sinus. Je n'ajouterai à leur description que les remarques que j'ai faites concernant l'ouverture de cette antichambre dans l'oreillette.

Il est difficile ici de reconnaître une forme cubique à la cavité auriculaire. La cloison, en effet, comme l'a très bien montré

(1) H. Milne-Edwards. — *Physiologie et anatomie comparées*, t. 3. Note 2 de la p. 504.

Sabatier, au lieu de constituer une paroi régulière et sensiblement plane, présente une forme contournée que le professeur de Montpellier a comparée à un Z. Nous pouvons cependant, en arrondissant les angles par la pensée, retrouver les six parois de l'oreillette des Mammifères. J'attache une grande importance à cette orientation, car elle fait mieux ressortir les différences des deux classes.

Ce que l'examen extérieur de l'oreillette nous faisait déjà prévoir se vérifie encore mieux dans sa cavité : l'oreillette droite tend à contourner le bord droit du cœur pour se rapprocher de l'axe longitudinal de l'organe. Nous retrouverons ce mouvement de torsion chez les Reptiles et les Vertébrés inférieurs où il s'accentue de plus en plus, ce qui permet de vérifier l'exactitude de la loi dite de « *flexion et de torsion de l'axe* » énoncée par Sabatier ([**41**] p. 294).

La paroi supérieure de l'oreillette des Oiseaux est réduite à un bord résultant de sa rencontre avec les parois postérieure et antérieure. En somme, elle est représentée par l'angle aigu mousse que forme la réunion de ces deux dernières. Dans ces conditions le sillon qui la remplace devient légèrement convexe à droite, c'est-à-dire dans la cavité auriculaire, à cause de la saillie de l'aorte. La veine cave supérieure droite est rejetée tout à fait à son extrémité postérieure à l'angle de la paroi postérieure.

Cette veine cave, au lieu de présenter une ouverture circulaire comme chez les Mammifères, possède un orifice elliptique en boutonnière à grand diamètre antéro-postérieur et légèrement oblique de gauche à droite.

Gash ([**87**] p. 149) a décrit trois types de distribution des veines caves, que j'ai aussi rencontrés : 1° les trois veines caves ont une ouverture séparée dans l'oreillette comme chez *Sarcoramphus papa* ; 2° une veine cave supérieure, généralement la gauche, est réunie à la veine cave inférieure, tandis que l'autre est plus ou moins isolée. Ex. : Canard sauvage des Guyanes (*Anas brasiliensis*) ; 3° les trois veines caves sont réunies à leur embouchure comme chez *Apterix* (Gash cite *Struthio* et *Casuarius*).

Voyons donc, puisque j'ai les trois types sous les yeux, de quelle façon se comportent les valvules.

Dans le cas de *Sarcoramphus papa*, où les trois veines caves sont séparées, la veine cave supérieure droite qui s'ouvre librement dans l'oreillette, présente une seule valvule, l'externe (droite), qui bien développée, se continue avec la valvule de la veine cave inférieure,

tandis que la paroi interne (gauche) du vaisseau se confond insensiblement avec la cloison interauriculaire.

La veine cave inférieure est fermée par une double valvule très développée, orientée longitudinalement. La valvule externe (droite) se continue en haut avec la valvule de la veine cave supérieure droite.

La veine cave supérieure gauche s'ouvre au dessous et en dedans de la veine cave inférieure. Son orifice est presque circulaire. Il montre une valvule supéro-externe membraneuse très développée dont la direction transversale, sensiblement perpendiculaire à celle de la veine cave inférieure, ne se rencontre à ma connaissance que chez l'Homme et les Placentaires supérieurs. Généralement en effet, même chez les Implacentaires, les veines caves inférieure et supérieure gauche sont placées de telle sorte que la même valvule externe peut leur servir, la valvule de Thébésius devenant comme un prolongement de la valvule d'Eustache. Cet exemple de *Sarcoramphus papa* est une preuve indéniable que la séparation complète entre ces deux formations s'est produite tardivement.

Le deuxième type de Gash, que j'ai rencontré chez *Anas brasiliensis*, est le type ordinaire : la veine cave supérieure droite d'une part, les veines caves inférieure et supérieure gauche d'autre part, constituent deux ouvertures entourées chacune par une double valvule; il semble qu'un étranglement passager a séparé en deux l'immense orifice commun du sinus des Reptiles que nous allons rencontrer chez l'*Apterix* (3me type de Gash).

Chez *Apterix australis* que j'ai étudié méticuleusement à ce point de vue, l'ouverture des veines caves dans l'oreillette se fait dans des conditions que nous rencontrons pour la première fois parmi les Vertébrés supérieurs.

La valvule d'*Apterix* a été décrite assez superficiellement. Les deux valves qui la constituent (fig. 6. B) sont excessivement développées, et flottent dans la cavité auriculaire. Elles ont leurs bords libres parallèles et la fente ainsi limitée est dirigée de haut en bas, d'avant en arrière et quelque peu de dehors en dedans (de droite à gauche). Leurs extrémités internes (gauches) s'insèrent séparément sur une forte colonne musculaire qui limite en arrière une cavité profonde sur laquelle je vais revenir dans un moment. Il y a entre ces deux insertions un espace libre formant couloir, de deux millimètres de largeur. On n'a pas besoin d'écarter les deux valves pour reconnaître dans le fond de l'antre à laquelle elles servent de parois latérales, les orifices des veines caves : la veine

cave inférieure s'ouvre entre les deux veines caves supérieures et, si une certaine distance la sépare de la veine cave supérieure droite, il n'en est plus de même pour la veine cave supérieure gauche qui débouche à sa partie inférieure de telle sorte que les deux vaisseaux semblent avoir une ouverture commune. Entre les deux la cloison de séparation s'avance sous forme d'une lame membraneuse tranchante qui rappelle exactement la valvule de Thébésius de *Sarcorhamphus papa*, par exemple, que j'ai décrite plus haut.

La présence du sinus veineux ainsi constituée se retrouve chez tous les Oiseaux, avec un développement variable. Tous les auteurs qui ont étudié le cœur de cette classe en donnent la description. Je me suis contenté de contrôler les faits déjà connus sur lesquels je ne reviendrai pas.

Les deux valvules dont je viens d'étudier l'insertion interne se terminent d'une façon toute différente à leurs extrémités opposées. Comme du côté interne, l'insertion externe est séparée pour chaque valve. Mais au lieu d'une colonne charnue mal délimitée, comme la colonne postérieure, il est facile de constater que les deux valvules sont les prolongements d'un fort muscle pectiné aplati qui traverse d'avant en arrière toute la paroi externe de l'oreillette, laquelle est mince et d'aspect membraneux. J'ai devant moi un cœur d'Apterix excessivement intéressant à ce sujet. Le muscle pectiné précédent en effet se divise à sa partie antérieure en deux lames minces, aplaties transversalement, très développées, qui limitent une cavité en boutonnière ayant la paroi auriculaire antérieure pour fond ; on croirait être en présence de deux valvules, plus petites mais identiques aux deux valvules du sinus veineux. Je ne pense pas que ce détail ait été signalé par mes prédécesseurs, car je ne l'ai trouvé dans aucune des publications que j'ai consultées. Et cependant on comprend tout le parti qu'on peut tirer de cette disposition. Carl Röse, en effet, a beaucoup parlé des muscles tenseurs des valvules, auxquels il trouve un développement maximum chez les Poissons, Amphibiens et Reptiles. Or, le fait que je viens de signaler chez *Apterix* me porterait à croire que ces muscles tenseurs, qui d'après la théorie de Carl Röse seraient *secondaires* puisqu'ils n'existeraient que de par leur fonction, sont au contraire *primaires*. Je montrerai en effet que c'est chez les Poissons, dont l'oreillette rappelle à plus d'un point de vue l'oreillette d'Apterix — j'entends dans la constitution de la paroi — que les muscles pectinés aplatis atteignent tout leur développement. Leur formation par plissement de la paroi doit être la même que celle des valvules.

Si ces valvules ont pris une extension plus considérable, c'est en raison du rôle que la nature leur a fait jouer, en vertu du principe général qui veut qu'un organe se développe en raison directe de sa fonction. Chez *Apterix* nous retrouvons les muscles pectinés aplatis transversalement des Poissons; mais beaucoup d'entre eux sont déjà aplatis longitudinalement ou arrondis comme il ne cesseront de l'être chez les Mammifères. Chez ces derniers même ils finiront par se confondre dans certains cas avec la paroi auriculaire, et l'origine des valvules qui ont disparu ou disparaissent semblera impossible à reconnaître.

Je suis d'autant plus porté à croire que je raisonne dans le vrai, que l'embryogénie m'aide à établir ma façon de voir. Elle nous montre en effet que les valvules auriculo-ventriculaires des Vertébrés supérieurs sont des valvules secondaires qui prennent naissance au moyen de bourrelets endothéliaux de l'orifice auriculo-ventriculaire.

Le résultat est que ces formations d'origine endothéliale doivent, pour pouvoir être utiles, se mettre en relation avec le myocarde : d'où l'apparition des muscles papillaires. Les valvules du sinus veineux au contraire qui prennent aussi leur origine dans les bourrelets endothéliaux ont toujours plus ou moins la forme de nid de Pigeon (*pocket-wall*) des Anglais.

La paroi antérieure de l'oreillette nous montre l'ouverture de l'auricule. Cette auricule est bien développée mais ne présente jamais le prolongement postérieur que nous avons rencontré chez les Marsupiaux sous le nom d'auricule postaortique. Cependant, j'insiste sur ce fait que chez les Oiseaux, comme chez les Monotrèmes et les Placentaires, il existe généralement une colonne musculaire bien développée qui délimite une loge supérieure représentant l'auricule préaortique des Marsupiaux.

La paroi inférieure, qui est virtuelle puisqu'elle est constituée par l'orifice auriculo-ventriculaire, ne nous arrêtera pas, de même que la paroi externe. La paroi interne, paroi droite de la cloison interauriculaire, est beaucoup plus importante. Irrégulière et en forme de Z ainsi que je l'ai déjà dit et que l'a bien montré Sabatier, elle présente en avant et en dedans, c'est-à-dire à gauche de la valvule interne, un infundibulum sur lequel j'insisterai. Limitée en avant et en dedans par la saillie de l'aorte, en arrière et en dehors par le prolongement de la colonne musculaire qui a donné naissance à la valvule du sinus, cette cavité, assez profonde, a pour plancher la région amincie et membraneuse de la cloison interauri-

culaire. A ce niveau la cloison est flasque et peut s'invaginer dans l'oreillette gauche, caractère sur lequel j'ai déjà insisté chez les Monotrèmes et que nous rencontrerons à son maximum de développement chez les Reptiles et les Batraciens.

Reptiles.

L'oreillette droite des Reptiles diffère sensiblement de celle des Mammifères et des Oiseaux. Cependant, il est facile d'y retrouver bon nombre de dispositions que nous avons déjà rencontrées chez les Vertébrés supérieurs.

Je ne reprendrai pas l'étude du sinus veineux. Les travaux de Sabatier et de C. Röse, pour ne citer que les plus importants, nous l'ont bien fait connaître. Je n'insisterai donc que sur les points qui m'ont paru les plus intéressants. Extérieurement, la présence des trois veines caves est de règle. La veine cave supérieure gauche se dirige horizontalement vers la gauche, et après avoir suivi le sillon auriculo-ventriculaire, remonte le long de la paroi gauche de l'oreillette gauche.

L'auricule est toujours très développée. Extérieurement elle présente des renflements variables comme nombre et comme forme non seulement dans une même famille mais encore dans une même espèce. On peut cependant en reconnaître trois à peu près constants qui correspondent précisément à la disposition intérieure.

Si nous ouvrons en effet l'oreillette, nous voyons chez les Crocodiliens, dans *Crocodilus acutus*, par exemple, que les colonnes charnues sont disposées en trois groupes passant insensiblement l'un à l'autre. De telle sorte que je crois pouvoir dire qu'il existe : 1° une auricule antérieure et inférieure ; 2° une auricule antérieure et supérieure ; 3° une auricule postérieure. Les deux premières peuvent encore être appelées auricules droites (inférieure et supérieure) et la troisième auricule gauche. Je le répète, cette division est loin d'être aussi nette que celle que j'ai décrite chez les Marsupiaux.

L'épaisseur de la paroi de l'oreillette est en général très faible, et nous allons la voir diminuer en descendant la série. Cependant j'ai constaté chez une *Chelonia midas* dont le cœur mesurait neuf centimètres de hauteur, que l'oreillette était très épaisse et à paroi spongieuse. *Testudo nigrita* et *T. tabulata* m'ont au contraire présenté des oreillettes à paroi très mince sur laquelle se détachaient des

petites colonnes musculaires aplaties transversalement et intimement unies dans toute leur longueur à la paroi.

La valvule double du sinus veineux avec sa forme en boutonnière a été suffisamment décrite par les auteurs pour que je puisse me dispenser de la reprendre. Je ferai seulement remarquer que les formations que C. Röse nomme *muscles tenseurs* rappellent ce que j'ai décrit chez Apterix. A leur partie inférieure, les deux valvules, qui paraissaient accolées, sont plus ou moins écartées et disparaissent dans la paroi brusquement. A leur partie supérieure au contraire, leurs bords, sans s'accoler, viennent se fusionner avec une masse musculaire plus ou moins développée qui donne naissance à la plupart des muscles pectinés. A moins de considérer tous ces muscles pectinés comme des muscles tenseurs, il est difficile de reconnaître dans beaucoup de cas les muscles tenseurs que C. Röse décrit comme constants depuis les Poissons jusqu'aux Mammifères.

A gauche, c'est-à-dire en dedans et en avant de la valvule interne, se trouve une région sur laquelle aucun naturaliste à ma connaissance n'a suffisamment attiré l'attention. Sabatier ([**41**] p. 193) la décrit aussi : « Chez les Chéloniens, la cloison des oreillettes est « légèrement oblique de bas en haut et de droite à gauche, c'est-à-« dire que placée inférieurement à peu près sur la ligne médiane, « elle se dévie en haut vers l'oreillette gauche de manière à agrandir « l'oreillette gauche aux dépens de celle-là ».

Cette description est exacte, mais elle est incomplète. Comme le montre la fig. 20 en effet, ce n'est pas seulement parce que la cloison est oblique que la cavité droite empiète sur la gauche. Elle le fait surtout parce que cette cloison, au lieu d'être plane dans toute son étendue comme de coutume, présente à sa partie supérieure et postérieure une excavation dont la concavité est tournée vers l'oreillette gauche. Si l'on ajoute que la cloison interauriculaire est très mince, on comprendra que sous l'effet de la pression sanguine, cette excavation ne peut avoir qu'une tendance à s'amplifier.

J'ai bien étudié cette disposition surtout chez *Testudo tabulata* et j'ai retrouvé chez les Oiseaux, en particulier chez *Apterix* et chez les Monotrèmes, une disposition qui, par ses rapports, sa forme et son aspect, rappelle exactement ce qui existe chez les Chéloniens. Ni chez les Marsupiaux ni chez les Mammifères Placentaires je n'ai jamais rencontré rien de semblable.

La seule différence qui existe entre *Apterix* et les Monotrèmes

d'une part, et les Chéloniens d'autre part, c'est que chez ces derniers la concavité est assez profonde, lisse et unie comme le reste de la paroi auriculaire à ce niveau, tandis que chez les premiers cette excavation est peu profonde et traversée par des faisceaux conjonctifs qui lui donnent vaguement un aspect aréolaire.

Amphibiens.

Chez les Amphibiens, les deux oreillettes sont encore séparées. La droite est toujours plus grande que la gauche. Elles peuvent être placées en arrière, sur les côtés, ou en arrière et au dessus de l'unique ventricule. Le sinus, toujours très développé, est en rapport direct avec les deux oreillettes dont il recouvre la face postérieure. La région qui correspond à l'oreillette droite reçoit les deux veines caves supérieures à droite et à gauche et la veine cave inférieure en bas. Le sang provenant de ces trois vaisseaux pénètre dans l'oreillette droite. La cloison interauriculaire en effet s'avance dans la cavité du sinus et sépare la grande loge veineuse précédente d'une loge beaucoup plus petite qui correspond avec l'oreillette gauche : c'est le sinus pulmonaire (1) dans lequel se déversent la ou les veines pulmonaires. Dans la fig. 5. B, qui représente le cœur de *Cryptobranchus,* on voit cette veine pulmonaire en *vp.* Le sinus ouvert, fig. 8. A, montre en *vp* cette même veine pulmonaire vue par transparence à travers la paroi excessivement mince du sinus. Son orifice n'est pas visible.

Quoique le sang des veines caves et celui des veines pulmonaires se déversent séparément dans l'oreillette correspondante, il y a donc une disposition chez les Amphibiens plus simple que celle des Reptiles inférieurs où chaque oreillette possédait un sinus spécial, la cloison interauriculaire s'étant réunie à la cloison du sinus.

Tous ces faits sont connus depuis longtemps mais leur importance m'oblige à les résumer en confirmant mes constatations personnelles.

Osawa [**103**] a donné tout récemment une monographie de la Salamandre géante du Japon. Je n'ai été en possession de ce travail qu'après avoir étudié les cœurs des deux *Cryptobranchus japonicus* que j'ai eus à ma disposition. Je ne ferai donc pas une description

(1) Pour éviter la confusion qui pourrait se produire avec le sinus de l'artère pulmonaire, on devrait toujours employer, quand on a en vue ce dernier, le terme « infundibulum ».

complète de cet animal ; je ne m'appesantirai que sur les points insuffisamment étudiées par l'auteur japonais.

Osawa décrit trois « recessus » — droit, gauche et intermédiaire — à la face ventrale et un — dorsal — à la face dorsale. J'ai retrouvé ces mêmes formations, dans lesquelles je n'ai pas pu m'empêcher de voir les auricules préaortiques et postaortiques de Marsupiaux, en *aua* et *aup* (fig. 8 A, B). Pour compléter l'assimilation,

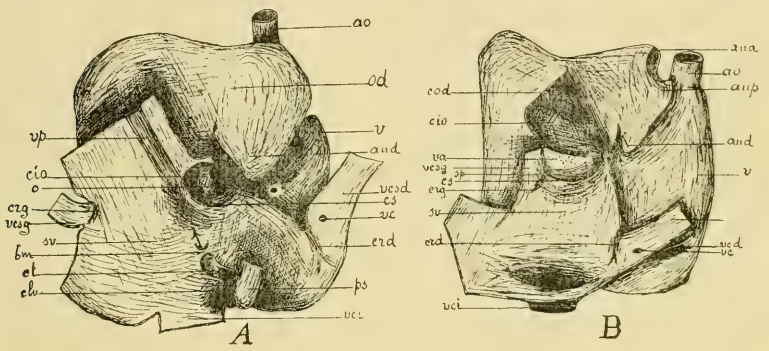


Fig. 8. — Cœurs de Salamandre géante du Japon (*Cryptobranchus japonicus*), A (nº 1), B (nº 2) ; *ao*, aorte (tronc artériel) ; *aud*, auricule dorsale ; *aua*, *aup*, auricules antérieure et postérieure (pré et postaortiques) ; *od*, oreillette droite ; *cod*, sa cavité ouverte ; *cio*, cloison interauriculaire ; *cs*, cloison du sinus veineux ; *sv*, sinus veineux ouvert ; *sp*, sinus pulmonaire ; *vp*, veine pulmonaire vue par transparence à travers la paroi postérieure du sinus ; *o*, orifice du sinus veineux dans l'oreillette droite ; *va*, valvule du sinus qui n'est pas visible en A ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *crd*, *crg*, croissants fibreux remplaçant les valvules ; *clv*, tente membraneuse séparant la veine cave inférieure *vci* de la veine cave supérieure droite ; elle est attachée à la paroi postérieure *ps* du sinus ; *bm*, bride musculaire et *ct* corde tendineuse dépendant de *clv* ; *vcd*, veine coronaire droite ; *vc*, son orifice dans *vcsd* ; *v*, ventricule.

au représenterait l'auricule principale que nous trouvons chez tous les Vertébrés, et *od* l'oreillette proprement dite. En effet, à l'intérieur, la cavité correspondante à *od* est lisse, et Osawa n'a pas manqué de faire remarquer qu'elle constituait l'oreillette proprement dite sans pousser plus loin les homologies.

La paroi externe de l'oreillette droite est très mince, au point de devenir transparente par places. Mais elle n'approche pas de la délicatesse de la paroi interne, c'est-à-dire de la cloison inter-auriculaire. Cette cloison est en effet une lame transparente dirigée de haut en bas, de gauche à droite et d'avant en arrière (fig. 22 A).

Hyrtl l'aurait trouvée perforée, ce qui fait dire à Carl Röse ([**40**] p. 60), que chez les Urodèles la perforation est la règle. J'avoue que malgré toute mon attention je n'ai pas trouvé de communication interseptale entre les deux oreillettes. Mais il existe des points où la cloison devient si mince qu'elle semble ne pas exister. Ce sont ces points qui ont dû être pris pour des perforations. La loupe et un stylet fin permettent de lever tous les doutes. Il n'est pas sans intérêt, on le comprend, de rapprocher ces trous fermés, si je peux les appeler ainsi, des trous ouverts que Boas a décrits chez d'autres Urodèles tels que *Amphiuma*, *Siren*, *Cœcilia*, *Menobranchus*. Le fait indiquerait simplement, entre beaucoup d'autres, que *Cryptobranchus* est plus perfectionné que les Urodèles précédents.

La cloison interauriculaire n'est pas plane et tendue; elle est courbe et flottante (fig. 22 A). La pression sanguine exercée à droite par trois gros vaisseaux étant supérieure à celle provenant de l'oreillette gauche, qui ne reçoit qu'une faible veine, il est facile de comprendre qu'elle sera concave du côté du maximum de pression, c'est-à-dire de l'oreillette droite. J'ai déjà insisté sur cette disposition chez les Chéloniens.

La face interne de la paroi externe de l'oreillette correspondant aux « recessus » d'Osawa est parcourue par un système de colonnes musculo-membraneuses, aplaties transversalement et dont la direction générale est oblique de haut en bas et de dehors en dedans. La présence de ces colonnes rappelle celles que nous avons rencontrées chez *Apterix* et que nous allons trouver constamment chez les Poissons. Elles délimitent des aréoles plus ou moins larges.

Les valvules de l'oreillette droite ont été souvent décrites chez les Amphibiens. En laissant de côté le système auriculo-ventriculaire que j'étudierai avec le ventricule, je dirai un mot des valvules du sinus. J'ai rencontré tout d'abord, à l'intérieur même du sinus, deux croissants fibreux *crd*, *crg* aux points où les veines caves supérieures droite et gauche se déversent dans le sinus. Dans l'un des deux cœurs (fig. 8 B) la veine cave inférieure *vci* ne présentait aucune formation valvulaire, ni membraneuse, ni fibreuse. Dans l'autre cœur au contraire (fig. 8 A) on voit entre *vci* et la veine cave supérieure droite *vcsd* une formation membraneuse *cl*, qui représente sa valvule interne, tandis que *crd* serait la valvule externe.

Osawa, p. 350, décrit à la veine cave inférieure un anneau fibreux que je n'ai pas rencontré.

La valvule de communication entre le sinus et l'oreillette est

connue depuis longtemps chez les Anoures. Chez tous les Amphibiens elle est construite sur le même type, c'est-à-dire formée par deux valves opposées inégales dont la direction seule varie. La valve externe est toujours très développée (fig. 8 B). La valve interne l'est beaucoup moins, ainsi que j'ai pu le constater chez *Cryptobranchus*, elle est réduite à un épaississement fibreux en forme de croissant dont les rapports sont les mêmes que chez la Grenouille. La description de ces valvules chez les autres Amphibiens est détaillée dans Sabatier, Carl Röse, etc.

C'est entre la cloison et la valvule gauche du sinus que se trouve l'espace *intersepto-valvulaire* décrit par Born [**26**]. Cet espace ne saurait avoir le rôle important que Born et Carl Röse lui attribuent. Il représente une augmentation plus grande de l'oreillette droite sur l'oreillette gauche, chez les Vertébrés inférieurs, et tend à disparaître au fur et à mesure qu'on monte dans la série, puisque l'oreillette droite perd peu à peu sa prépondérance sur la gauche.

Poissons.

Les deux oreillettes étant communes chez les Poissons, il est plus rationnel de les étudier après l'oreillette gauche.

§ II. — OREILLETTE GAUCHE

Marsupiaux.

D'une façon générale, l'oreillette gauche des Vertébrés subit moins de variations que l'oreillette droite. Quand nous aurons étudié les ventricules, nous pourrons généraliser encore plus et dire que le cœur gauche est plus stable et plus fixe que le cœur droit.

L'oreillette gauche des Marsupiaux présente une forme en dôme comparable à celle de l'oreille droite. Aussi, pour les commodités de la description, lui reconnaîtrons-nous six parois comme à cette dernière, à laquelle correspondront les mêmes noms.

1° *La paroi supérieure*, peu développée, correspond aux orifices des veines pulmonaires. Ces orifices sont en nombre variable, selon que les veines se fusionnent avant d'arriver à l'oreillette, ou sortent séparées. La fig. 1 pl. II montre le cas de *Did. crassicaudata* où il existe deux orifices de chaque côté, c'est-à-dire deux veines pulmonaires droites et deux gauches. Un cas moins fréquent est celui dans lequel il y a trois veines droites et deux gauches. Assez souvent on trouve un seul orifice à droite et à gauche. Ces orifices

sont dépourvus de valvules. Mais on peut rencontrer, comme chez *Macropus giganteus*, un croissant fibreux très développé à la veine pulmonaire droite.

2° *La paroi inférieure* correspond à l'orifice auriculo-ventriculaire gauche.

3° et 4° *Les parois antérieure* et *postérieure* sont lisses et sans intérêt.

5° La *paroi externe* ou *gauche* se confond avec l'auricule gauche que j'étudierai plus loin.

6° La *paroi interne* qui n'est autre que la cloison interauriculaire est très épaisse et lisse. Je n'ai rencontré chez aucun Marsupial quoi que ce soit qui pût ressembler à une dépression ovale, ce qui corrobore nos connaissances sur l'absence de la fosse ovale. Le repli semi-lunaire décrit par Lannelongue dans le cœur humain correspond ici à un orifice borgne.

L'auricule gauche (fig. I, pl. II) est très développée et formée par l'entrecroisement d'un grand nombre de colonnes charnues, dont les unes sont verticales et attachées par leurs deux extrémités à la paroi (colonnes de 2e ordre); les autres verticales et plus ou moins ramifiées réunissent ces dernières au bord interne de l'orifice de communication entre l'auricule et l'oreillette.

Monotrèmes.

L'oreillette gauche des Monotrèmes (fig. 7) présente la même forme et les mêmes dispositions que celle des Marsupiaux. A la paroi supérieure, ou plus exactement, à l'angle que fait cette paroi avec la paroi postérieure, viennent déboucher les veines pulmonaires au nombre de 2, dans 3 cœurs (2 Echidnés 1 et Ornithorhynque) sur les 5 que j'ai étudiés. Dans les deux autres (1 Echidné et 1 Ornithorhynque), les deux veines pulmonaires se fusionnaient en un vaisseau unique qui venait s'ouvrir à l'angle supérieur droit de l'oreillette.

Je n'ai pas rencontré de valvules; mais au contact du vaisseau, la paroi auriculaire s'épaissit et il se forme une sorte de croissant musculo-fibreux, moins développé que chez *Macropus*, mais suffisamment différencié pour être remarqué.

La fig. 7. B. montre en *d* chez *Ornithorhynchus paradoxus*, une légère dépression de forme circulaire qu'on aperçoit avec un peu d'attention à la paroi interne, immédiatement au-dessus de l'orifice auriculo-ventriculaire. Cette dépression correspond au fond

de la dépression *d* que nous avons rencontrée dans l'oreillette droite (même figure, A).

Dans le cœur d'Echidné représenté en D cette empreinte n'est pas visible.

On ne peut s'empêcher d'établir une certaine relation entre cette formation et la dépression ovale du cœur des Mammifères supérieurs dont elle possède exactement la forme et la situation. Cette observation ne peut que fortifier le rapprochement que j'ai établi en étudiant l'oreillette droite, entre les Monotrèmes et les Placentaires, alors que rien de semblable ne se rencontre chez les Marsupiaux.

L'auricule gauche est très développée. Dans la fig. 7 D (Echidné) elle a été légèrement exagérée. Sa communication avec l'oreillette se fait par un large orifice doublé de fortes colonnes charnues.

Mammifères placentaires.

Chez les Placentaires, l'oreillette gauche se rapproche de plus en plus de l'oreillette humaine. La disposition des parois est la même. Les veines pulmonaires manquent de valvules. La paroi interne présente comme chez l'Homme une *dépression ovale* correspondant à la *fosse ovale* de l'oreillette droite. L'auricule est moins développée que chez les Implacentaires.

Oiseaux.

L'oreillette gauche des Oiseaux diffère déjà notablement de celle des Mammifères placentaires. On est frappé en effet de la séparation nette qui existe entre l'oreillette proprement dite et l'auricule.

Les parois de l'oreillette sont lisses, tandis que celles de l'auricule sont parcourues par des colonnes charnues très développées du genre de celles que nous avons rencontrées chez *Didelphys* (fig. 1, pl. II). Mais ici, de plus, la séparation est accentuée par l'existence d'une cloison semi-mobile, incomplète, qui s'avance dans la cavité auriculaire entre l'auricule et l'orifice des veines pulmonaires. Cette cloison a la forme d'un croissant à concavité inférieure. Elle sépare en quelque sorte l'oreillette gauche en deux compartiments : l'une antérieure lisse, qui reçoit les veines pulmonaires ; l'autre postérieure et gauche, aréolaire, double de la précédente, qui est l'auricule.

Reptiles.

En étudiant l'oreillette droite des Reptiles, nous avons vu que la cloison interauriculaire, que j'ai représentée chez *Testudo tabulata* (fig. 20), était dirigée avec une obliquité telle, que la cavité de

l'oreillette gauche en était sensiblement réduite. Cette réduction porte sur la partie lisse, c'est-à-dire sur l'oreillette proprement dite. La proportion entre cette oreillette et l'auricule sera donc encore inférieure à celle que nous trouvons chez les Oiseaux.

D'autre part, les veines pulmonaires se fusionnent au moment d'aborder le cœur de telle sorte qu'elles ne présentent qu'un seul orifice dans l'oreillette. Cet orifice, ainsi que je l'ai plusieurs fois constaté, peut être traversé par un croissant fibreux vertical qui indique la dualité des veines pulmonaires. L'auricule est toujours très développée et de constitution spongieuse.

Amphibiens.

Chez les Amphibiens, l'oreillette gauche est encore relativement plus petite que la droite. J'ai déjà étudié chez *Cryptobranchus* la paroi interauriculaire (fig. 22) et j'ai montré à propos de l'oreillette droite comment le sinus veineux se trouvait partagé en deux compartiments, l'un, très grand, communiquant avec l'oreillette droite, l'autre, très réduit, communiquant avec l'oreillette gauche. Cette séparation incomplète est obtenue par la cloison dite *cloison du sinus*, qui marche à la rencontre de la cloison interauriculaire. Cette rencontre s'est faite chez les Reptiles ; mais comme la cloison du sinus se développe moins vite que la cloison interauriculaire, on comprend que le pertuis interauriculaire — trou de Botal — soit relégué à la région la plus postérieure du sinus. C'est ce que Sabatier exprime en disant que le pertuis appartient chez les Reptiles, non à l'oreillette, mais au sinus.

L'orifice pulmonaire unique se présente du côté du sinus avec une forme elliptique qui permet de lui reconnaître deux lèvres : une droite très courte qui la sépare des veines caves et une gauche plus développée. Je n'ai pas rencontré de valvule.

Presque toute la paroi interne de l'oreillette gauche est parcourue par des colonnes musculo-membraneuses minces et aplaties transversalement.

Poissons.

Sans entrer dans le détail de l'apparition de la cloison interauriculaire, nous constatons que chez les Poissons, les deux oreillettes sont fusionnées ensemble pour donner une seule cavité. Le cœur est donc réduit à sa plus simple expression : une oreillette et un ventricule.

La situation de cette oreillette est excessivement variable par

rapport au ventricule ; d'où les changements de direction de la valvule auriculo-ventriculaire.

Le sinus veineux est à son maximum de développement et communique largement avec l'oreillette. Il n'y a en effet pas de veine pulmonaire puisque les poumons n'existent pas encore. Les veines caves, ou plus exactement leurs homologues, se réunissent ensemble pour former le canal de Cuvier dont l'ouverture dans le sinus se manifeste par la présence de deux valvules en boutonnière, très développées.

La paroi de l'oreillette est tapissée intérieurement par des colonnes musculo-membraneuses aplaties transversalement et saillantes dans la cavité. Je n'insiste pas sur ces dispositions qu'on trouvera bien développées dans Sabatier, Carl Röse, Gegenbaur, etc.

§ III. — VENTRICULE DROIT

Marsupiaux.

Pour bien comprendre le ventricule droit des Marsupiaux il faut étudier le cœur d'un type auquel il sera facile de comparer celui des autres représentants du groupe. Mon choix s'est arrêté sur *Didelphys cancrivora* parce que, parmi les espèces que j'ai pu me procurer vivantes c'est elle qui est la plus grande. Dans ce chapitre c'est donc le « pian » que j'aurai surtout en vue et chaque fois que l'occasion se présentera j'indiquerai les différences que j'ai constatées dans les familles voisines, voire même dans la même espèce.

Examiné antérieurement, le ventricule droit, ainsi que je l'ai déjà dit, ne se distingue pas du gauche puisqu'il n'y a pas de sillon interventriculaire. Seulement chez les spécimens de *Did. cancrivora* dont le cœur présente à la pointe le coup de hâche que j'ai signalé, le sillon indique assez exactement ce qui revient à chacun des ventricules.

D'autre part j'ai montré que dans certains cœurs conservés dans l'alcool, la teinte de la paroi n'était pas la même des deux côtés et permettait de ne pas confondre les deux ventricules.

Pour bien étudier la cavité ventriculaire droite il faut pratiquer une incision suivant la ligne que j'ai établie en décrivant la configuration générale du cœur, ligne qui suit le bord gauche de l'infundibulum de l'artère pulmonaire et se dirige obliquement de gauche à droite. On obtient ainsi un volet qui descend plus ou moins bas, comme nous le verrons plus loin et qu'on peut rabattre

sur l'oreillette (fig. 3, pl. II). Il faut prendre garde en relevant la paroi de ne pas briser les cordes tendineuses quelquefois très grêles, qui l'unissent à la cloison inter-ventriculaire. Pour cela, on découpe un second volet dans le premier, en traçant une incision perpendiculaire à la première, partant du voisinage de sa partie médiane pour aboutir à l'insertion de la valvule auriculo-ventriculaire.

Deux points frappent tout d'abord l'observateur :

1° Le ventricule droit ne s'étend pas chez tous les Marsupiaux, jusqu'à la pointe du cœur.

2° La cavité ventriculaire occupe une situation variable par rapport aux faces antérieure et postérieure et au bord droit du cœur.

En d'autres termes, le diamètre sagittal et le diamètre transversal de la cavité n'ont pas le même développement dans toutes les familles.

J'ai constaté cependant que si ces diamètres variaient avec les familles, leurs rapports étaient constants non seulement pour un même genre, mais pour les espèces d'un même genre.

C'est ainsi que chez tous les Didelphys américains le ventricule droit s'étend en bas jusqu'à la pointe, ou du moins, au voisinage de cette pointe. C'est chez *Did. virginiana* (pl. II, fig. 3) que j'ai rencontré le maximum d'éloignement. Chez *Did. murina* au contraire (pl. IV, fig. 7, 8 et 9) on peut voir que le ventricule droit passe au dessous du ventricule gauche et constitue à lui seul toute la pointe. Dans la même série de coupes longitudinales, les fig. 5 et 6 de la même planche, rencontrent la cavité ventriculaire à des distances plus ou moins grandes du plan sagittal. On voit que cette cavité descend moins bas qu'au niveau de la région sagittale (fig. 9).

Chez *Phalanger* le ventricule droit descend aussi très bas. Chez *Phascolomys* et *Perameles* la cavité, comme chez *Did. virginiana*, s'arrête à une certaine distance de la pointe et se retrécit de plus en plus dans les genres suivants. C'est ainsi que chez *Dendrolagus* la réduction est plus sensible que chez *Perameles*, et nous prépare à la disposition que nous allons rencontrer chez *Macropus*. Chez les Kanguroos que j'ai étudiés en effet, le ventricule droit s'arrête à une grande distance de la pointe : C'est la constitution qui va dominer chez les Mammifères placentaires et que nous allons retrouver chez l'Homme, tandis que les Sarigues se rapprocheront plus des Monotrèmes et des Reptiles.

Si du diamètre longitudinal nous passons au diamètre transversal, nous trouvons tous les degrés de torsion depuis les *Didelphys*

jusqu'aux *Macropus*. Je m'explique. Quand on ouvre un cœur de *Didelphys* suivant la ligne que j'ai indiquée, et en laissant l'organe reposer sur sa face postérieure, on constate que toute la cavité ventriculaire se présente à la vue, c'est-à-dire presque de face. Chez *Macropus* au contraire la même opération ne montre qu'une partie — un peu plus de la moitié — de la cavité. L'autre partie occupe la face postérieure du cœur et se trouve ainsi cachée. Pour avoir l'aspect représenté en 7, fig. 10, de façon à pouvoir comparer les détails avec ce qui existe chez *Didelphys*, il faut tourner le cœur de *Macropus* de près de 90° vers la gauche. Autrement dit, la fig. 10 n'est plus une vue antérieure du cœur comme toutes celles représentant *Didelphys*, mais une vue *droite* de l'organe.

Il est curieux de constater, que déjà chez *Did. virginiana* la vue antérieure du ventricule n'est pas complète. Si nous nous figurons par la pensée que la cloison ventriculaire est plane et transversale chez *Did. cancrivora* et les autres espèces guyanaises, chez *D. virginiana*, cette cloison sera légèrement oblique de gauche à droite et d'avant en arrière. Chez *Macropus*, elle sera — toujours si on la suppose plane et si on ne tient pas compte de sa convexité — antéro-postérieure. De même chez *Dendrolagus*, il faut tourner le cœur d'un angle de plus de 75° pour bien voir la valvule, alors que chez *Didelphys virginiana* un angle de 20 à 25° suffirait pour obtenir le même résultat. *Phalanger* et *Perameles* sont intermédiaires et l'angle de rotation est plus grand chez ce dernier.

Je reviendrai plus tard sur cette torsion du cœur. Elle a été signalée par Sabatier comme caractère différentiel des grandes classes des Vertébrés, mais je n'ai trouvé nulle part mention de ce fait chez les Implacentaires, fait d'autant plus intéressant qu'il présente tous les degrés dans la seule sous-classe des Marsupiaux.

Le ventricule droit est beaucoup plus grand que le gauche. Sa forme est celle d'un cône aplati transversalement. Sur une coupe transversale (pl. III, fig. 6-7-8), elle représente un croissant plus ou moins développé, qui enveloppe en partie le ventricule gauche. Ce croissant acquiert ses plus grandes dimensions vers la région médiane. La cavité ventriculaire, en effet, se rétrécit à ses deux extrémités, c'est-à-dire à la pointe et vers la base. A sa partie supérieure, sa section est sensiblement elliptique et c'est elle qui détermine la forme de l'orifice auriculo-ventriculaire.

Pour la commodité de la description, je distinguerai au ventricule droit :

1° Une paroi externe ou libre;

2° Une paroi interne ou septale (c'est la cloison interventriculaire) ;

3° Deux angles, droit et gauche, réunissant les deux parois ;

4° Un sommet ;

5° Une base.

Paroi externe. — La paroi externe est mince et représente en moyenne le tiers de l'épaisseur de la cloison. Chez *Did. cancrivora*, elle est relativement plus épaisse que chez *D. lanigera* et *lepida* par exemple, et moins épaisse que chez *Macropus* et *Dendrolagus*. Tapissée intérieurement par l'endocarde, elle peut être lisse dans toute son étendue, comme chez *D. opossum* et *D. murina*, ou présenter des renflements et colonnes musculaires très développés comme chez *Macropus*. D'une façon générale sa moitié inférieure est lisse tandis que la moitié supérieure offre des saillies plus ou moins prononcées qui se dirigent vers l'anneau orificiel. Ces colonnes charnues constituent chez Kanguroo un véritable tissu aréolaire, mais chez la plupart des autres espèces, la disposition est celle que l'on rencontre communément chez *D. cancrivora* et qui est intermédiaire.

A cette paroi libre viennent aboutir en règle générale, une ou plusieurs colonnes membraneuses, musculaires ou fibro-musculaires, qui partent de la cloison et que nous étudierons avec cette cloison sous le nom de *colonnes modératrices* (*cm*, fig. 9). L'insertion se fait soit directement, par un contact unique, soit indirectement au moyen de plusieurs, généralement deux, embranchements tendineux plus ou moins écartés.

Paroi interne. — La paroi interne ou septale est fortement convexe de gauche à droite et légèrement de haut en bas. Elle présente à considérer quatre segments :

a) En haut, près de l'orifice auriculo-ventriculaire elle donne naissance aux colonnes tendineuses qui vont s'insérer à la valve septale de la valvule auriculo-ventriculaire ;

b) Immédiatement au-dessous la surface est lisse ;

c) Le troisième segment donne insertion aux piliers de la valve antérieure de la valvule auriculo-ventriculaire et aux colonnes modératrices ;

d) Le segment inférieur présente des stries obliques en bas et à gauche qui indiquent la direction des fibres musculaires. Généralement, surtout chez les *Didelphys*, il donne naissance à des colonnes musculaires qui se rendent à la paroi externe et constituent de véritables colonnes modératrices. Le nombre et la distribution de

ces colonnes sont excessivement variables. On en compte de une à six plus ou moins développées.

Dans la suite, je décrirai les colonnes charnues, autant du cœur droit que du cœur gauche, en les rattachant aux trois ordres créés

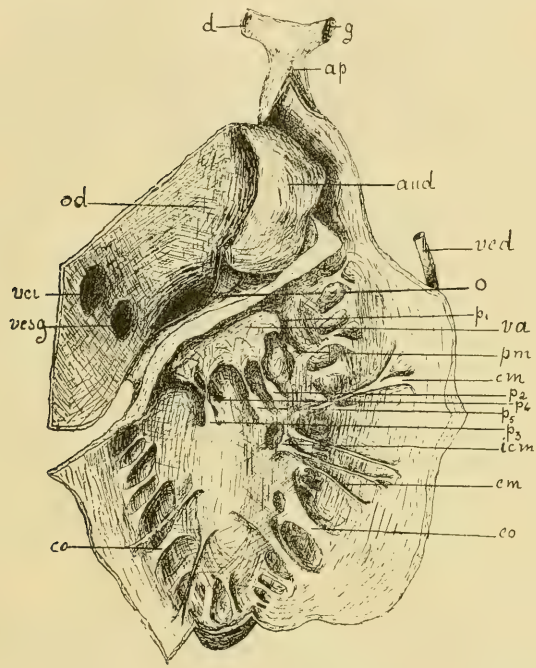


Fig. 9. — Cœur de *Didelphys nudicaudata* ; *ap*, artère pulmonaire relevée avec ses branches droite et gauche *d* et *g* ; *aud*, auricule droite ouverte et sectionnée ; *od*, oreillette droite ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire droit ; *vcsg*, veine cave supérieure droite ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcd*, veine coronaire ventriculaire droite ; *va*, valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire ; p_1, insertion directe de la valvule au muscle de l'infundibulum ; *pm*, pilier musculaire inséré sur p_1 ; p_2, p_3, p_4, piliers musculaires de la valvule ; p_5, pilier supplémentaire renforçant p_2 ; *cm*, colonnes modératrices musculaires provevenant de la masse rayonnante *icm* ; *co*, fortes colonnes charnues des angles jouant le rôle de colonnes modératrices.

par les classiques : 1° les *colonnes de premier ordre* ne prennent contact avec la paroi que par leur base ; leur extrémité supérieure est libre et donne naissance aux cordages tendineux qui se rendent aux valvules auriculo-ventriculaires. Beaucoup d'auteurs les nomment encore *muscles papillaires* ou *piliers* : 2° les *colonnes charnues de deuxième ordre* sont celles qui prennent contact avec la paroi

par leurs deux extrémités, la partie moyenne restant libre. C'est dans cette catégorie qu'il faut faire entrer les colonnes modératrices ; 3° les *colonnes de troisième ordre* sont complètement adhérentes à la paroi, aussi bien par leurs deux extrémités que par leur partie médiane. Elles font des saillies plus ou moins prononcées dans les cavités du cœur et sont comme sculptées dans la paroi.

Revenons aux colonnes modératrices. C'est King [**35**] qui, en 1837, dans une étude sur la valvule droite de l'Homme, des Oiseaux et des Mammifères, proposa le nom de « *moderator band* » à une série de petits faisceaux musculaires qui traversent le ventricule d'une paroi à l'autre.

H. Milne-Edwards (t. III, p. 500) traduit par « trabécule régulatrice » l'expression « moderator band » de King et insiste sur la constance de ces colonnes musculaires dans le cœur des Mammifères supérieurs. Tous les auteurs qui ont étudié le cœur signalent les mêmes formations, en particulier Brown [**48**]. N'ayant rien trouvé de semblable dans la littérature scientifique intéressant les Marsupiaux, j'ai relaté en 1888 [**4**] la constance de ces colonnes modératrices chez les *Didelphys*.

J'ai en effet rencontré d'une façon constante ces colonnes charnues chez tous les *Didelphydæ* que j'ai eus à ma disposition.

J'ai constaté depuis, que tous les Marsupiaux que j'ai étudiés, les possédaient aussi. Mais chez les *Didelphys*, le nombre en est généralement plus grand.

J'ai toujours rencontré chez les espèces américaines une colonne constante au-dessous du pilier gauche de la valvule auriculo-ventriculaire. Quelquefois elle s'insère directement sur la base de ce pilier. D'autre fois elle est réduite à un filet tendineux et si on ne prend pas les précautions que j'ai indiquées, pour ouvrir le ventricule, elle se rompt et peut passer inaperçue.

Un mode d'insertion que j'ai observé très souvent est celui représenté fig. 10, *cmi*, cm_1. Immédiatement au-dessus du pilier gauche p_2, on aperçoit une série rayonnante de petites colonnes charnues, dont certaines sont soudées ensemble. Au nombre de six à huit, ces faisceaux viennent se réunir au centre du cercle d'insertion sans prendre contact avec la paroi. Le résultat de cette fusion est un cordon cylindrique perpendiculaire au plan des faisceaux qui lui ont donné naissance, lesquels représentent une roue dont il serait l'essieu : c'est la *colonne modératrice*.

Elle se dirige vers la paroi externe en conservant une direction sensiblement normale à la cloison. Elle est légèrement oblique en

bas ; mais cette obliquité est exagérée sur mes figures à cause du rabattement de la paroi ventriculaire.

Souvent, avant d'aborder la paroi libre, la colonne modératrice se divise en deux cordes qui peuvent encore se subdiviser avant

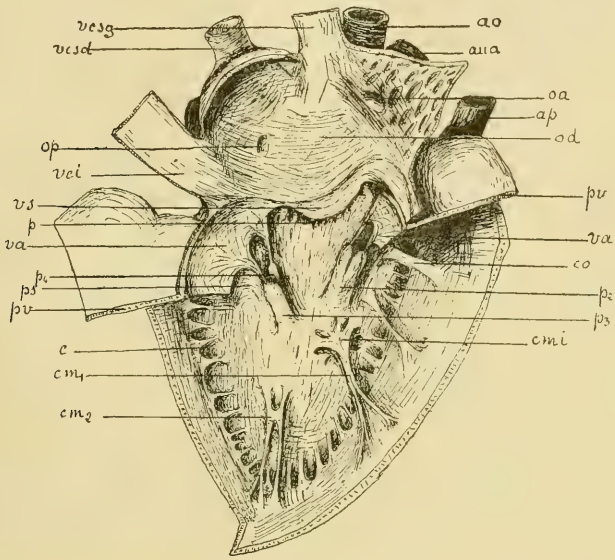


Fig. 10. — Cœur de *Didelphys cancrivora* ; *ao*, aorte ; *ap*, artère pulmonaire ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vci*, veine cave inférieure ; *od*, oreillette droite (paroi interne) ; *oa*, orifice de l'auricule préaortique *aua* dans l'oreillette ; *op*, orifice de l'orifice postaortique ; *pv*, *pv*, paroi antérieure du ventricule droit sectionnée et écartée ; *ps*, cloison interventriculaire ; *va*, valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire sectionnée et écartée ; *vs*, valve septale de la même valvule ; p_2, p_3, p_4, piliers musculaires de la valve externe ; *p*, petits piliers musculo-tendineux de la valve septale ; *co*, colonne charnue de l'angle des parois ventriculaires plus développée que les autres colonnes de même genre *c* et faisant le passage aux véritables colonnes modératrices cm_1, cm_2 ; *cmi*, insertion rayonnante de cm_1 à la cloison.

leur insertion. Dans la fig. 10, la colonne modératrice est unique. Elle ne se divise qu'au moment d'aborder la paroi externe. Dans la fig. 9, au contraire, la couronne rayonnante des faisceaux formateurs a donné trois colonnes modératrices, la plus inférieure se divisant immédiatement en deux, ce qui porte le nombre à quatre.

Chez *Didelphys virginiana*, j'ai remarqué que cette colonne typique manquait souvent, comme chez les Marsupiaux australiens. Elle

est remplacée par une série de cordes tendineuses grêles au nombre de deux à six qui naissent pêle-mêle de la cloison. Les fig. 1 et 2 (pl. III) les représentent chez *Phalanger* et *Dasyurus*.

Sans entrer dans le domaine de la physiologie nous pouvons supposer que le rôle de ces colonnes modératrices est de modérer, comme leur nom l'indique, la distension du ventricule. Dans les cas où elles sont manifestement musculaires elles doivent en outre contribuer, en se contractant, à chasser le sang, au moment de la systole ventriculaire, vers l'artère pulmonaire.

Angles des parois. — Quand on ouvre un ventricule droit en sectionnant sa paroi antérieure et en rabattant les deux lèvres, on voit que ces angles, qui sont si nets sur les coupes 5, 6, 7, 8 de la pl. III sont cachés en réalité. En effet, si nous considérons les fig. 3 (pl. I), 1, 2 (pl. III), et 9, 10, nous constatons que les deux parois sont réunies par une série de colonnes charnues de deuxième ordre de dimensions variables. On en voit une dans la coupe 8 pl. III. Il semble que l'on ait sous les yeux le tissu aréolaire des auricules. Certains de ces faisceaux un peu plus éloignés de l'angle constituent de véritables colonnes modératrices.

Chez *Did. virginiana* de même que chez *Macropus* et les autres genres australiens, les colonnes musculaires qui comblent les angles des deux parois sont moins nombreux mais plus développés et plus forts que chez *Did. cancrivora* et les espèces américaines voisines.

Sommet. — Le sommet du ventricule descend plus ou moins bas comme nous l'avons déjà vu. Il est, pour les mêmes raisons, plus ou moins aigu, et l'angle que la paroi externe forme avec la cloison est comblé par de nombreuses colonnes charnues de deuxième ordre. On rencontre souvent, presque constamment dirai-je, deux ou trois de ces colonnes plus développées qui vont s'insérer plus haut sur la cloison, et qui jouent le rôle de colonnes modératrices.

Base. — La base du ventricule droit est formée par l'orifice auriculo-ventriculaire à droite et l'orifice de l'artère pulmonaire à gauche. Entre les deux s'étend une masse charnue qui mérite une mention spéciale. Je l'appellerai le « *muscle de l'infundibulum* ».

Chez les *Didelphys* ce muscle est saillant et représente le type d'une puissante colonne charnue de troisième ordre. Dans certains cœurs il est si développé qu'il forme un véritable éperon ; chez *Macropus*, j'ai vu sa base se diviser et donner deux colonnes qui disparaissent insensiblement dans la cloison.

La direction du muscle de l'infundibulum est oblique de gauche

à droite et de haut en bas. Son bord droit est concave et regarde l'orifice auriculo-ventriculaire. Il naît du contour de cet orifice et donne insertion, comme nous le verrons, à la valvule droite. Son bord gauche est aussi concave mais regarde en haut et à gauche, c'est-à-dire du côté de l'orifice de l'artère pulmonaire. Ainsi se trouve délimité le sinus de l'artère pulmonaire que je désignerai de préférence sous le nom d' « infundibulum » pour indiquer sa forme évasée et éviter toute confusion avec le sinus veineux pulmonaire de l'oreillette droite des Reptiles.

Je ne pense pas que ce faisceau musculaire soit l'équivalent de l'éperon de Wolf du cœur humain. L'éperon en effet est transversal et se termine dans la paroi antérieure du ventricule en avant de l'orifice auriculo-ventriculaire, dont il contribue à former la portion antérieure de l'anneau. Le muscle de l'infundibulum doit être au contraire le vestige de la formation que Sabatier appelle la « fausse cloison » des Reptiles.

Orifice de l'artère pulmonaire. — L'orifice de l'artère pulmonaire se compose de deux parties : le sinus ou infundibulum, et l'artère proprement dite.

L'infundibulum est large et spacieux chez tous les Marsupiaux. Il est limité en arrière par la cloison interventriculaire, en avant et à gauche par la paroi externe, à droite par le muscle de l'infundibulum. Sa forme est sensiblement circulaire et sa lumière regarde en haut et à gauche. Extérieurement, quand on a enlevé le péricarde on aperçoit nettement la limite du ventricule dont les fibres musculaires naissent — ou se terminent, — dans un anneau fibreux, très peu développé il est vrai, mais constant. Au dessous, les parois de l'artère présentent leurs caractères ordinaires et ont perdu la teinte rosée du muscle cardiaque.

Il existe trois valvules sigmoïdes qui sont orientées : antérieure, gauche et droite. Elles tournent avec le ventricule quand se produit la torsion de l'axe du cœur. La constitution intime de ces valvules sigmoïdes est celle de la valvule aortique représentée fig. 11, pl. III. Le plus souvent il existe un nodule de Morgagni assez net ; mais il fait défaut dans nombre de valvules.

Quoique le programme que je me suis tracé ne comporte pas la description des vaisseaux sanguins, je dois consacrer quelques mots à une formation des plus intéressantes que j'ai constatée dans la région de l'orifice pulmonaire des Marsupiaux.

Quand on étudie l'artère pulmonaire de l'Homme et des Placen-

taires on constate que la paroi du vaisseau présente une texture uniforme dans toute son étendue.

Il n'en est pas de même chez les Marsupiaux, et s'il est difficile de bien le voir dans les cœurs des petites espèces, la constatation est facile chez les animaux de grande taille. Du moins dans les six cœurs de *Macropus* que j'ai eus à ma disposition, en particulier chez les plus gros qui mesuraient 14 et 11 centimètres de hauteur, le fait ne saurait être mis en doute.

Si on considère la paroi de l'artère pulmonaire, immédiatement au point où elle émerge du ventricule, on voit que sa constitution change brusquement ; à droite et un peu en dedans, c'est-à-dire dans la zone en contact avec la crosse aortique, il existe une région circulaire dont le diamètre est sensiblement égal à celui de l'artère pulmonaire elle-même, où la paroi n'est représentée que par une membrane mince et transparente : telle une valvule qui comblerait un orifice. On met encore mieux cette disposition en évidence en ouvrant longitudinalement le vaisseau et en le regardant par transparence en face d'une fenêtre bien éclairée. D'autre part, au toucher, l'index et le pouce placés l'un à l'intérieur, l'autre en dehors de l'artère, sentent un ressaut correspondant à cette dépression.

Pour mieux observer cette formation, il faut sectionner la valvule sigmoïde droite derrière laquelle elle est en partie cachée.

J'ai retrouvé chez la plupart des Marsupiaux cette formation. A cause du faible diamètre de l'artère pulmonaire, il est évident qu'il faut la chercher avec soin pour la mettre en évidence dans les cœurs de petites dimensions.

A quoi correspond cette valvule, car c'en est une vraisemblablement ?

Est-ce le vestige de l'orifice d'un vaisseau qui s'ouvrait dans le ventricule droit ? Ce ne peut être le canal de Botal qui réunit l'artère pulmonaire à l'aorte puisqu'on trouve ses restes dans un cordon fibreux au niveau de la bifurcation de l'artère pulmonaire, c'est-à-dire beaucoup plus haut que la valvule dont nous nous occupons. Ce ne peut être non plus une artère pulmonaire droite, car il est probable que, même obstruée, elle aurait laissé trace de son existence, sous forme d'un cordon fibreux, comme le canal de Botal.

D'autre part si c'était une aorte indépendante nous aurions, pour les mêmes raisons, retrouvé son ancien parcours.

Nous sommes donc amenés à faire le raisonnement suivant : à une certaine période du développement, l'aorte gauche a pris nais-

sance dans le ventricule droit si près de l'artère pulmonaire, que ces deux vaisseaux avaient un orifice commun, fait démontré par l'embryogénie. De même que chez les Crocodiliens, un pertuis, le trou de Panizza, faisaient communiquer ensemble les deux aortes ; la droite, en raison de l'importance spéciale que prenait le ventricule gauche a acquis un développement de plus en plus grand tandis que l'aorte gauche, provenant du ventricule droit, se réduisait à un simple canal de communication qui n'a pas tardé à disparaître.

Sabatier écrivait il y a 30 ans : « *En somme, le cœur de Mammifère n'est autre chose qu'un cœur de Crocodile dont le foramen de Panniza est considérablement dilaté et dont l'orifice de l'aorte gauche dans le ventricule droit s'est oblitéré.* » ([**41**], p. 268).

Cette proposition, qui semblait une pure hypothèse scientifique, quoique Sabatier ait essayé de l'étayer sur des preuves puisées dans la tératologie, se trouverait aujourd'hui, je crois, pleinement démontrée par le fait de l'existence de cette valvule que je propose d'appeler *valvule aortique primitive gauche*, si l'on ne tenait compte que de la disposition des branches aortiques.

Malheureusement, je n'ai pas pu trouver dans l'aorte le pendant de cette valvule de l'artère pulmonaire. Est-ce à dire qu'elle n'a pas existé ? Je ne le pense pas. Je crois, au contraire, que son maintien avec les caractères de la valvule primitive gauche devenait impossible, en raison de la force du courant sanguin lancé par le puissant ventricule gauche. Ne voyons-nous pas dans la cloison interauriculaire la fosse ovale devenir entièrement musculaire et s'épaissir au point de se laisser difficilement délimiter chez certains Mammifères ? A plus forte raison, dans une aorte continuellement condamnée à résister à une pression sanguine si considérable le tissu élastique a dû prendre un développement en rapport avec le rôle qu'il avait à jouer. C'est l'embryogénie seule qui pourra nous dire si véritablement, à une certaine époque de la vie embryonnaire, la communication du ventricule droit avec l'aorte droite existait telle que je la comprends.

Orifice auriculo-ventriculaire. — L'orifice qui fait communiquer l'oreillette droite avec le ventricule droit présente une forme elliptique qui devient sensiblement circulaire dans le cœur vivant. Son axe est dirigé de haut en bas, de droite à gauche et d'arrière en avant. Le plan de l'orifice est donc dirigé obliquement de haut en bas, de gauche à droite et d'avant en arrière. Nous verrons en étudiant l'architecture du cœur qu'il est constitué par un anneau

fibreux assez épais auquel s'attachent les fibres musculaires de l'oreillette et du ventricule droit ainsi que la membrane de la valvule auriculo-ventriculaire. Vu de l'oreillette droite cet orifice présente un contour lisse et continu chez tous les Marsupiaux. Il est fermé par la valvule que je vais maintenant étudier.

Valvule auriculo-ventriculaire droite. — La valvule auriculo-ventriculaire droite a une importance anatomique que tous les auteurs sont unanimes à reconnaître. Tandis que la valvule du cœur gauche varie à peine, la valvule auriculo-ventriculaire du cœur droit subit au contraire des transformations capitales dans la série. C'est pourquoi je l'étudierai avec quelque détail.

La valvule droite est membraneuse chez tous les Marsupiaux comme Owen l'a établi depuis longtemps dans son *Anatomy of Vertebrates*. Pour en faciliter la description je lui reconnaîtrai donc : 1° une partie membraneuse ou valvule proprement dite ; 2° une partie musculaire, constituée par les piliers qui la mettent en relation avec les parois ventriculaires.

J'ai dit que la membrane valvulaire prend insertion sur le pourtour de l'orifice auriculo-ventriculaire. L'endocarde passe insensiblement de la paroi de l'oreillette à la surface de la valvule, de telle sorte qu'il est impossible de délimiter le pourtour de cette valvule. La coupe verticale représentée fig. 11 pl. IV montre bien cette disposition. Elle permet de reconnaître d'autre part de quelle façon cette valvule prend naissance. On voit qu'elle émane directement de l'anneau fibreux qui constitue l'orifice auriculo-ventriculaire. Ainsi se forme une lame mince, très résistante, constituée essentiellement par des fibres élastiques noyées dans un ciment de fibrilles conjonctives serrées, le tout recouvert sur les deux faces par l'endocarde. Il est intéressant de voir que cet endocarde ne tarde pas à se réduire à un unique revêtement endothélial constitué par les cellules irrégulières représentées fig. 12 pl. III.

La fig. 12 pl. IV, qui donne la coupe d'un pilier, montre la naissance d'un autre point de la valvule. Elle permet de reconnaître que cette valvule provient directement du tissu fibreux qui enveloppe le pilier et représente en quelque sorte le tendon du muscle papillaire. — Je n'ai jamais pu déceler de fibres musculaires propres dans l'épaisseur de la valvule. C'est à peine si dans le pourtour orificiel quelques fibres, que je considère comme aberrantes, pénètrent au milieu du tissu élastique.

La question de l'existence des vaisseaux dans les valvules du cœur humain a donné lieu à une série de recherches parmi lesquelles

je citerai Darier [**51**] et Weber et Deguy [**74**]. Darier soutient qu'à l'état normal il n'existe jamais de vaisseaux dans la portion membraneuse fibro-élastique des valvules auriculo-ventriculaires de l'Homme, tandis que Weber et Deguy sont d'un avis contraire et prétendent que quand les vaisseaux ne sont pas visibles, il y a des lacunes. Darier en 1898 reprenant la question a combattu ce travail en citant les conclusions qu'il avait données en 1887.

Dans les coupes, soit longitudinales, soit transversales, des valvules des *Didelphydæ*, je n'ai pas pu reconnaître de vaisseaux et je pense comme Darier que ces vaisseaux ne doivent se former que sous l'influence d'une cause pathologique.

Il faut distinguer deux faces à la valvule : une face *interne* ou orificielle et une face *externe* ou ventriculaire. La face interne, tournée vers l'orifice auriculo-ventriculaire, est lisse. La face externe, qui regarde la paroi ventriculaire, est au contraire irrégulière et sillonnée dans tous les sens par les cordages provenant des piliers musculaires (fig. 12. B). Nous pouvons reconnaître ici la division que M. Sée [**72**] donne de ces cordages dans le cœur humain : 1° *cordages de 1er ordre*, qui traversent la valvule dans toute sa hauteur, du pilier à l'anneau fibreux orificiel ; 2° *cordages de 2me ordre*, qui naissent le plus souvent des cordages de 1er ordre, quelquefois directement des piliers, et vont s'épanouir dans l'épaisseur de la valvule ; 3° *cordages de 3me ordre* qui naissent des deux premiers ou plus rarement du pilier lui-même pour s'insérer au bord libre de la valvule.

Tous ces cordages se dichotomisent plusieurs fois en s'écartant de plus en plus au voisinage de l'anneau orificiel. Elles se voient très nettement dans les coupes que j'ai examinées. Dans certaines coupes j'ai constaté une disposition dont je n'ai pas trouvé la description dans les travaux d'histologie : de la surface valvulaire se détachent des fibrilles qui proviennent manifestement du corps de la valvule et pendent librement, comme des villosités, dans la cavité ventriculaire. Je signale simplement le fait sans pouvoir en donner une explication.

L'axe de la valvule est celui de l'orifice auriculo-ventriculaire : il est oblique de droite à gauche, de haut en bas et légèrement d'arrière en avant. Sa forme est celle d'un tronc de cône dont la base serait représentée par l'orifice auriculo-ventriculaire. Le sommet est très irrégulier, plus ou moins déchiqueté et donne insertion aux cordes tendineuses provenant des piliers.

La distribution de ces piliers est très variable ainsi que leur

volume. Leur direction est à peu près constante : c'est celle de l'axe de la valvule. En d'autres termes ils sont sensiblement parallèles dans leur court trajet. Il faudrait les prolonger bien au-delà de la pointe pour trouver leur intersection au sommet du cône valvulaire (fig. 11).

Jamais je n'ai rencontré de pilier inséré sur la paroi externe ou libre du ventricule droit chez aucun Marsupial. Cependant Owen a signalé chez le Wombat une disposition qui rapproche le cœur

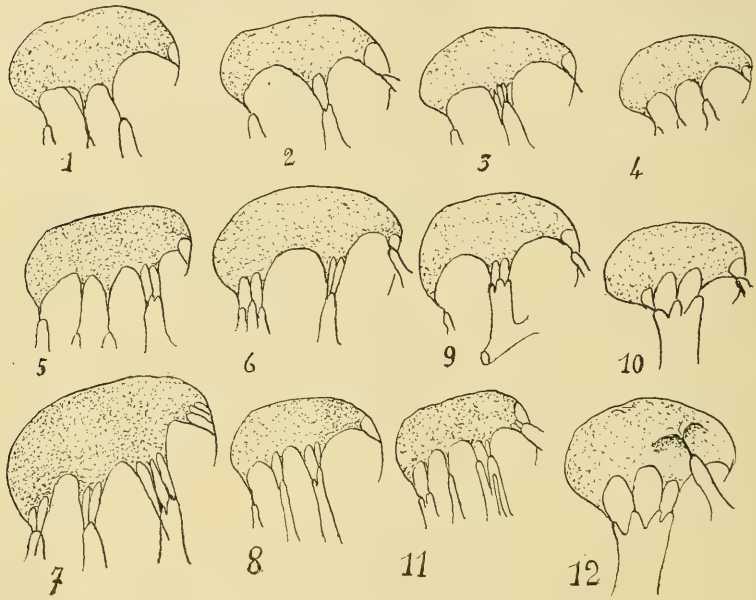


Fig. 11. — Valvule auriculo-ventriculaire droite (valve antérieure) : 1, *Did. lanigera* ; 2, *Did. nudicaudata* ; 3, *phalanger maculatus* ; 4, *Did. murina* ; 5, *perameles obesula* ; 6, *macropus thetidis* ; 7, *macropus giganteus* ; 8, *trichosurus vulpecula* ; 9, *lutra brasiliensis* ; 10, *cœlogenys paca* ; 11, *felis eyra* ; 12, *hydrochœrus capibara*.

de cet animal de celui de l'Homme et de certains Mammifères : le pilier interne naît de l'angle formé par la réunion des deux parois ventriculaires. Dans le cœur de Kanguroo représenté fig. 16 B et celui d'un *Didelphys virginiana* (fig. 3 pl. II) j'ai moi-même constaté que ce pilier qui prend manifestement insertion à la cloison, envoie un prolongement musculaire *co*, très développé, à l'angle ventriculaire, d'où partent des faisceaux musculaires qui vont aboutir à la paroi libre.

Chez aucune espèce guyanaise je n'ai rencontré pareille disposition et dans tous les cœurs que j'ai étudiés les piliers prenaient nettement insertion sur la cloison.

Étudions maintenant un pilier isolé. Il naît généralement de la cloison comme la branche naît du tronc de l'arbre, l'angle qu'il fait avec cette cloison variant entre 15° et 45°. Il est plus ou moins fort; mais en règle générale, son diamètre est d'autant plus grand que le pilier est plus rapproché de l'angle gauche du ventricule.

Sa forme (fig. 12, pl. IV) est généralement cylindrique, rarement aplatie transversalement, et son diamètre diminue de plus en plus en s'écartant de la cloison. On peut donc dire que cette forme est conique, la base se continuant directement avec la paroi, le sommet avec la ou les cordes tendineuses. Il arrive quelquefois que le pilier, dont le type est simple, se divise. Le sillon longitudinal qui le sépare peut donner naissance à deux colonnes égales ou inégales; il peut être à peine prononcé et n'indiquer qu'une tendance à la division ; son point de départ étant toujours le sommet du cône circulaire, il peut descendre plus ou moins bas, de telle sorte que le pilier aura simplement son sommet bifide, ou sera plus ou moins profondément séparé en deux piliers secondaires. Rarement cette division sera triple, et exceptionnellement quadruple. Cependant, quand sur les côtés du pilier naîtront des cordages tendineux de troisième ordre très développés, le tissu musculaire pourra faire saillie et donner lieu à un cône secondaire qui ne saurait entrer dans la description précédente (voir les figures 11 et 12).

Vers son sommet, et à une distance plus ou moins grande de ce sommet, le cône musculaire donne naissance, absolument comme le ferait un muscle ordinaire, tel le biceps, à un tendon qui l'enveloppe plus ou moins. Ce tendon possède, à mon avis, une très grande importance, car c'est de lui que vont naître les cordages tendineux. Le cas n'est pas rare de voir le tendon limité à une seule région du muscle papillaire, et alors la partie du sommet qui en est dépourvue se continue librement pour se comporter à son tour comme s'il était seul, c'est-à-dire donner naissance à un nouveau tendon duquel partiront les cordes tendineuses de la valvule.

En somme, si nous faisons une série de coupes transversales d'un pilier, nous aurons un aspect différent d'après la hauteur à laquelle la section sera pratiquée. Vers la base, elle sera sensiblement circulaire et montrera l'épithélium endocardique à l'exté-

rieur. A l'intérieur, les fibres vasculaires, réunies en faisceaux, présenteront les caractères ordinaires. Plus haut, comme le montre la fig. 12, pl. IV, la coupe pourra passer par une région où le pilier est entièrement entouré de son tendon. On voit même, dans ce cas particulier, le tissu fibreux environnant donner naissance à la

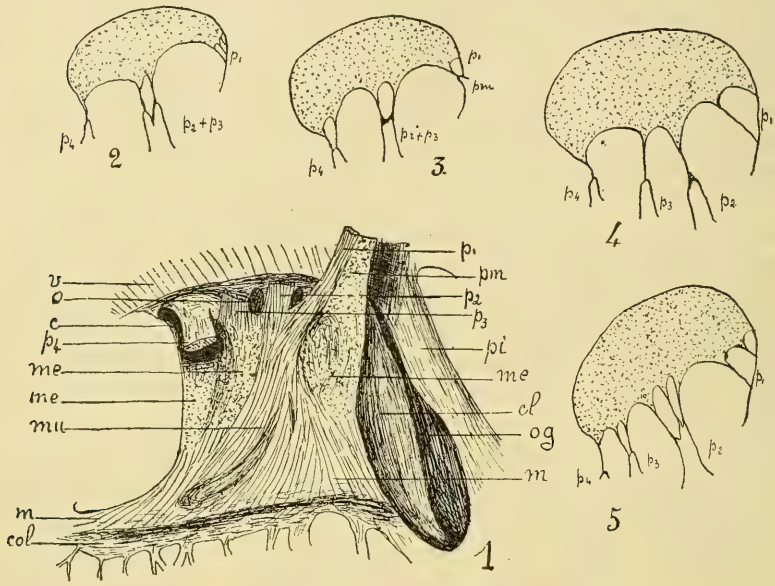


Fig. 12. — 1, double valvule de *Testudo tabulata* grossie ; *me*, parties membraneuses latérales ; *mu*, partie musculaire médiane ; p_1, p_2, p_3, colonnettes charnues aplaties (ne pas confondre avec les mêmes lettres dans les cœurs des mammifères) ; p_4, colonne fibreuse se renflant en bouton cartilagineux pour fermer l'orifice *c* ; *pm*, membrane accolée à *p* ; *pi*, paroi ventriculaire interne ; *cl*, cloison interauriculaire ; *og*, oreillette gauche ; *m*, faisceaux musculaires émanées de la colonne charnue *col* ; *v*, colonne charnue de la paroi antérieure ; 2, valvule auriculo-ventriculaire droite (valve externe) de *Didelphys opossum* ; 3, Id. de *Did. philander* ; 4, Id. de *Did. cancrivora* ; 5, *Did. virginiana*. Mêmes lettres que fig. 10.

membrane valvulaire qui s'attache directement au pilier. On peut constater que, même dans ce cas, aucun faisceau musculaire ne suit le tissu élastique.

Les piliers situés près de l'angle droit du ventricule pourront être réduits à une simple élévation de la paroi ventriculaire, et il semblera que cette paroi donne naissance directement aux cordes tendineuses. Il n'en est rien. Même en ce qui concerne la petite

valve de la valvule, ces colonnes tendineuses proviennent de petits cônes vasculaires souvent imperceptibles. Dans les cœurs d'un certain volume, en particulier chez Kanguroo géant, on voit nettement ces petits piliers charnus.

On a coutume de désigner la valvule auriculo-ventriculaire droite sous le nom de *valvule tricuspide* chez les Vertébrés supérieurs. Il faut beaucoup de bonne volonté pour arriver à décrire trois valves à cette valvule chez les Marsupiaux, car elle est essentiellement bicuspide, et j'appellerai *valve libre, valve externe* ou *grande valve* la moitié de la valvule qui correspond à la paroi ventriculaire externe, tandis que je réserverai le nom de *valve septale, valve interne* ou *petite valve* à la moitié de cette valvule, qui correspond à la cloison.

Cette division va nous permettre de mieux comprendre la distribution des piliers.

Valve externe. — En jetant un coup d'œil d'ensemble sur tous les cœurs de Marsupiaux que j'ai étudiés, je suis amené à prendre pour type un cœur dans lequel la valve antérieure est reliée à quatre piliers principaux que je désignerai par p_1, p_2, p_3, p_4, en partant de l'angle gauche du ventricule. Comme on le voit le pilier p_1 n'est autre que la formation musculaire que j'ai proposé d'appeler *muscle de l'infundibulum* (fig. 10, 11 et 12). En effet, dans certains cœurs tels que *D. opossum* et *Dasyurus maculatus* représentés fig. 13 (3 et 4), on peut constater que la valvule prend insertion sur presque toute la hauteur du bord droit de ce muscle. Le muscle de l'infundibulum joue donc le rôle d'un véritable pilier.

Chez les autres Marsupiaux (fig. 11, 12 et 13) l'insertion se fait toujours à la même place, mais au lieu d'être continue elle a lieu au moyen de plusieurs colonnes tendineuses et quelquefois charnues. Le nombre variable de ces colonnes ne permet pas de reconnaître un caractère à chaque famille, car on comprend que l'on puisse rencontrer tous les intermédiaires. Quoi qu'il en soit, il existe *toujours* au moins une insertion fibro-membraneuse qui réunit le pilier p_1 à la valve antérieure de la valvule. Je l'ai appelée p_m, car en général elle est réunie à p_1 par un petit pilier charnu bien développé.

Le pilier p_2 est le plus important de tous si l'on tient compte et de ses dimensions et du nombre de cordes tendineuses auxquelles il donne naissance. Dans la figure 17 B, j'ai représenté ce pilier chez *Macropus giganteus*. Comme on le voit, dans ce cas compliqué il se divise nettement en trois sommets qui donnent un nombre

variable de cordes tendineuses, lesquelles naissent soit directement de p_2, soit indirectement au moyen d'un tendon commun. Cette même figure montre comment ce pilier, qui est inséré sur la cloison, envoie des colonnes charnues à la paroi libre.

Les figures 11 et 12 représentent schématiquement un certain nombre de formes de p_2 avec ses ramifications.

Quand j'ai étudié isolément un pilier c'est surtout p_2 que j'ai eu en vue. C'est en effet sur lui que portent les moins grandes varia-

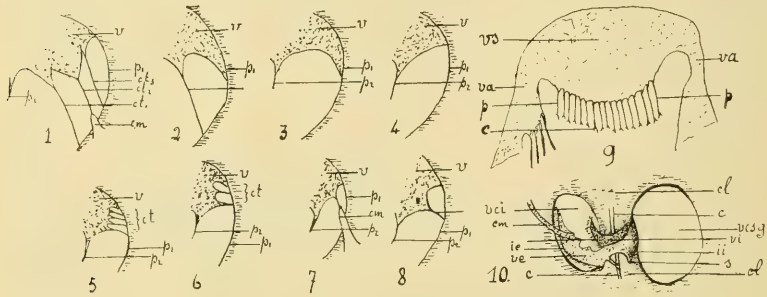


Fig. 13. — *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, 7, *8*, modes d'insertion de la valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire droite des marsupiaux sur le muscle de l'infundibulum ; p_1, muscle de l'infundibulum donnant naissance à un pilier musculaire *cm* (1 et 7) ou à des cordes tendineuses *ct*, ct_1, ct_2, ct_3 ; p_2, corde provenant du premier pilier libre ; 9, valve septale de *Macropus giganteus* ; *vs*, valve septale ; *va*, *va*, valve interne qui lui fait suite ; *p*, cordes tendineuses unissant *vs* aux petits cônes musculaires *c* à peine saillants sur la cloison ; 10, valvule de la veine case inférieure de *Didelphys cancrivora* ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcsd*, veine cave supérieure gauche ; *ve*, valve externe et *vi*, valve interne de la valvule ; *cl*, paroi auriculaire entre les deux veines avec son cordon fibreux *c* ; *ic*, insertion de la valve externe sur la paroi externe de la veine cave inférieure ; *ii*, insertion de la valve interne à la cloison jusqu'au point *s*.

tions. Je l'ai toujours trouvé présent, alors que p_4 peut disparaître ou se multiplier et que p_3 peut lui être accolé.

D'autre part p_2 se trouve un peu à gauche du plan sagittal et un peu plus haut que p_3.

Le pilier p_3 acquiert un développement qui peut égaler quelquefois celui de p_2. Mais généralement, placé à la droite de ce dernier, et un peu au-dessus de lui, il est moins puissant. Il manque rarement.

Le pilier p_4 s'insère en général au même niveau que p_3. C'est le plus variable des quatre. Il peut être représenté par une colonne musculaire aussi importante que p_3 ou même p_2 ou être réduit à un

simple mamelon duquel part une colonne tendineuse. Dans d'autres cœurs, à ses lieu et place, on peut rencontrer deux, trois et même quatre colonnes tendineuses qui semblent prendre naissance directement de la cloison et font le passage insensible aux cordes tendineuses de la valve septale, en diminuant de hauteur et de diamètre de gauche à droite.

Valve interne. — La valve interne de la valvule auriculo-ventriculaire droite ou *valve septale* est beaucoup moins développée que la valve externe. Sa hauteur égale à peine le tiers de cette dernière. D'autre part, jamais chez les Marsupiaux on ne rencontre de piliers tels que ceux que nous venons de décrire. C'est à peine si chez les espèces de grande taille, comme Kanguroo géant, on trouve des petits cônes musculaires (9, fig. 13) rappelant les piliers. En général les cordes tendineuses qui unissent la valve septale à la cloison sont grêles et très courtes, ce qui peut faire croire que la membrane valvulaire s'insère par tout son bord inférieur à la cloison.

Le nombre de ces cordes tendineuses est très variable ; on peut en compter en moyenne de 6 à 10. La valve de *Macropus giganteus* représentée fig. 13 en montre 17.

J'ai déjà dit comment le pilier p_4 de la valve antérieure passait insensiblement aux cordes tendineuses de la valve postérieure.

Il en est de même à gauche où le pilier p_1 donne une, deux ou trois petites colones tendineuses plus ou moins développées. De cette façon la valvule du cœur droit des Marsupiaux est continue et elliptique.

Il est difficile de lui donner le nom de *triglochine* ou *tricuspide*, car les trois valves qu'on a coutume de décrire dans le cœur humain ne sont pas distinctes chez les animaux que nous étudions. Il y a cependant déjà une tendance à la séparation de deux rideaux dans la valve antérieure de certaines espèces australiennes.

Monotrèmes.

Le ventricule droit des Monotrèmes, dans ses grandes lignes, se rapproche beaucoup de celui des Marsupiaux et en particulier du genre américain *Didelphys*. Comme chez *Did. murina*, il s'étend jusqu'à l'extrême pointe du cœur. D'autre part, le mouvement de torsion que j'ai signalé chez les Marsupiaux australiens est moins prononcé chez Echidné et Ornithorhynque. L'orientation est donc sensiblement la même que chez *Didelphys cancrivora* par exemple.

La paroi antérieure présente, surtout à sa partie supérieure, au

niveau de la valvule auriculo-ventriçulaire, de nombreuses colonnes charnues de troisième ordre qui lui donnent un aspect aréolaire particulier. Dans un cœur d'Échidné (fig. 16), cette disposition se rencontrait sur toute la paroi.

La paroi postérieure est relativement peu convexe. Elle donne insertion aux piliers de la valvule et aux colonnes *modératrices*. Mais il est intéressant d'étudier séparément les deux familles, car il existe des différences notables entre elles.

Ornithorhynchus paradoxus. — Le ventricule droit d'Ornithorhynque (fig. 14) est très grand et sa cavité présente la section en croissant que nous avons déjà rencontrée chez les Marsupiaux. Les angles que forment les parois entre elles sont caractérisés par des colonnes charnues moins nombreuses que chez les Marsupiaux, mais plus fortes et mieux développées. Plusieurs d'entre elles prennent leur insertion dans la région médiane de la cloison et constituent de véritables colonnes modératrices. Les cordes tendineuses qui réunissent les deux parois sont très nombreuses ; je n'en ai jamais rencontré autant dans aucun des cœurs de Vertébrés que j'ai étudiés. Toutes les variétés y sont représentées. Les unes (t_1, fig. 14) naissent par trois tendons des piliers ou de la cloison. D'autres, comme t_2, partant de la cloison, s'unissent à une colonne modératrice musculaire avant d'arriver à la paroi libre. D'autres comme t_3 s'étendent directement de la cloison à la paroi libre.

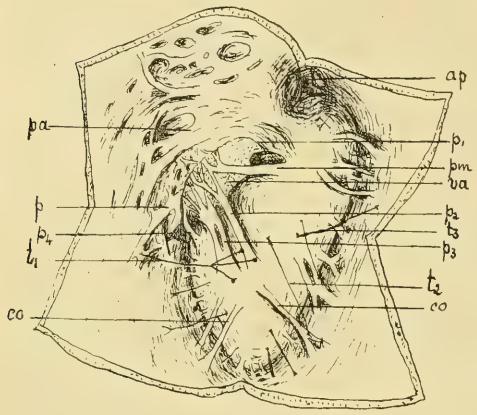


Fig. 14. — Cœur d'*Ornithorhynchus paradoxus ; ap*, artère pulmonaire avec ses valvules sigmoïdes ; *pa*, paroi antérieure du ventricule droit montrant les colonnes charnues de troisième ordre de sa face interne ; *co*, colonnes modératrices musculaires ; t_1, t_2, t_3, colonnes modératrices tendineuses ; *va*, valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire droite parcourue dans toute sa hauteur par les prolongements des piliers musculaires ; p_1, insertion directe de la membrane valvulaire ; *pm*, p_2, p_3, p_4, piliers musculaires de la valvule ; *s*, forte colonne charnue insérée sur le bord externe de l'anneau orificiel au contact de la valvule.

L'infundibulum de l'artère pulmonaire est très développé et séparé de l'orifice auriculo-ventriculaire, par le *muscle de l'infundibulum* qui est moins saillant cependant que chez les Didelphes. L'artère pulmonaire, dans les pièces conservées dans l'alcool que j'ai eues à ma disposition, se délimitait nettement de l'infundibulum, c'est-à-dire du ventricule, à cause de la couleur rougeâtre du tissu musculaire cardiaque. Trois valvules sigmoïdes, placées comme chez les Marsupiaux, en gardent l'entrée.

J'ai trouvé comme chez les Marsupiaux au niveau de la valvule gauche, et avec les rapports déjà décrits, un espace circulaire où la paroi artérielle est mince et transparente. Il existe donc aussi chez *Ornithorhynchus* une *valvule primitive de l'aorte gauche*, fait dont l'importance ne saurait échapper à personne, car il corrobore les remarques que j'ai faites chez les Marsupiaux.

L'orifice auriculo-ventriculaire est elliptique ; son axe est oblique de haut en bas, de droite à gauche et légèrement d'arrière en avant. Il donne insertion à la valvule caractéristique du genre.

Cuvier, Meckel [**20**], Owen [**23**], Gegenbaur [**30**], Ray Lankester ([**16**] et [**17**]), Carl Röse [**41**], et Beddard [**15**] sont les seuls auteurs, à ma connaissance, qui aient donné une description originale de la valvule droite d'Ornithorhynque. Meckel s'exprime ainsi : « Ostium « venosum valvulà clauditur simplici, semilunari. Cuvierus eam « nomisi concavo ventriculi pariete respondere dicens, minus pers- « picue loqui videtur quum uterque, et anterior s. dexter, et poste- « rior s. sinister, a septo formatus, convexi sint. Ille revera obver- « titur et insidet margino fixo. Recte a cuviero maxima ex parte « carnea dicitur, quum nomisi pars libera, anterior, margine leviter « concavo circumscripta, membranacea sit. Fasciculi musculares « ad ipsam et e septo et e pariete antico tendentes ad tres ordines « reduci possunt. Inferior, major, e pluribus fasciculis componitur « ex septo medio infero ad extremum valvulæ inferius abit, anterior « ex parietis anterioris parte inferiore recte ad basin valvulæ « ascendit, ubi cum superiore, ex summitate septi descendente « confluit. » (p. 71).

Les observations d'Owen (page 390) se rapprochent de celles de Meckel qu'elles précisent en quelque sorte : « The tricuspid valve « I found to consist of two membranous and two fleshy portions...; « and the structure of the valve thus offers an interesting transitio- « nal state betveen that of the mammal and that of the bird. »

Gegenbaur (page 381) donne une description qui s'écarte déjà sensiblement des précédentes. Il semble d'ailleurs en contradiction

avec lui-même, car à quelques lignes de distance, il écrit : « La « circonférence *entière* de l'orifice droit est entouré..., » et un peu plus loin : « ... attendu qu'il se trouve un certain point de la « circonférence de l'orifice où la valvule est *interrompue*... » Mais en somme, il admet dans la suite l'existence d'une valve septale.

Lankester ([**16**] p. 550) combat longuement le mémoire de Gegenbaur, et dans une note des plus intéressantes conclut à l'absence de la valve septale : « The absence of the greater part, or « even the whole, of the septal flap at once constitutes a very impor- « tant difference between the right cardiac valve of Ornithorhyn- « chus and that of any other Mammal which is known » (p. 554).

L'année suivante (1883), Lankester reprenant la question, examine sept nouveaux cœurs et conclut encore *qu'il n'y a pas de portion septale dans la valvule droite :* « In seven of the hearts exa- « mined a septal portion of the valve was not present » ([**17**] p. 10).

Carl Röse en 1890 ([**40**] p. 81) donne la description de deux cœurs d'Ornithorhynques qu'il a examinés, et conclut, comme Lankester, que la valve septale manque. Mais plus loin, il fait des restrictions. « Dans un des cœurs. j'ai trouvé des vestiges d'élé- « ments valvuloïdes ; il est vrai que ces éléments semblent être « les prolongements de la valvule marginale sur la partie septale. « Dans l'autre Ornithorhynchus, je crois avoir observé un repli endo- « cardique semblable à celui que j'ai décrit chez les Oiseaux « comme rudiment de la valvule septale qui finit par disparaître ».

La question semblait donc tranchée. Mais en 1894, Beddard ([**15**] p. 720) décrit la valvule droite de deux *Ornithorhynchus* chez lesquels la valvule septale existait. Dans le premier spécimen elle était peu étendue, mais dans la deuxième, dont il donne une figure, cette valve acquiert un très grand développement et ressemble à s'y méprendre à celle des Marsupiaux, au nombre des cordes tendineuses prés. Et Beddard conclut, p. 722 : « It is very « désirable that more hearts of *Ornithorhynchus* should be examined « at present it is uncertain wether the hearts described by prof. « Gegenbaur and myself have the stronger claim to be regarded as « the normal ».

J'ai publié dans le Bulletin du Muséum d'Histoire naturelle [**19**], une note pour expliquer comment deux opinions en apparence aussi opposées que celles de Gegenbaur et de Lankester pouvaient se concilier.

Pour bien comprendre cette note il faut considérer la fig. 14 du ventricule d'Ornithorhynque et la fig. 15 représentant séparément les deux valves de cette valvule.

Cette valvule est, comme on le voit, musculo-membraneuse comme l'avait décrit Cuvier.

Valve externe. — La valve externe (fig. 15 A), est formée par les quatre piliers p_1, p_2, p_3, p_4 qui rappellent exactement ceux du cœur des Marsupiaux.

En effet sur p_1 (*muscle de l'infundibulum*) vient s'insérer la partie membraneuse de la valvule, tandis que le pilier supplémentaire p_m, que nous avons trouvé constamment chez les Marsupiaux, quoique

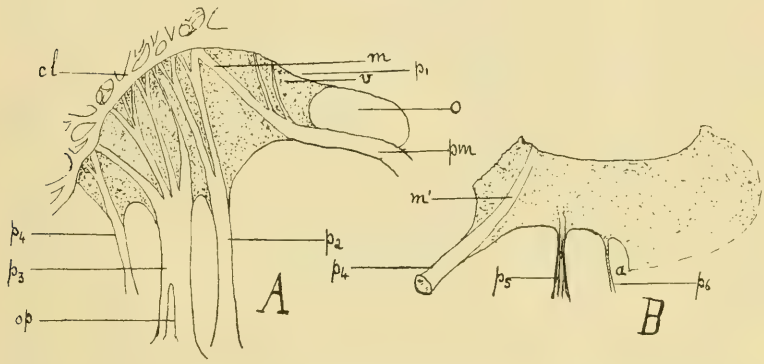


Fig. 15. — Valvule auriculo-ventriculaire droite d'*Ornithorhynchus paradoxus* grossie ; A, valve antérieure ; B, valve septale plus grossie ; p_1, p_2, p_3, p_4, pm, piliers musculaires traversant la valvule membraneuse v dans toute sa hauteur, comme m (A) et m^1 (B); p_5, pilier musculaire et p_6, pilier tendineux de la valve septale; a, point d'insertion de la valve septale à la cloison ; op, division du pilier p_3; o, espace libre entre p_1, et pm ; cl, colonnes charnues de la paroi libre au niveau de l'anneau orificiel de l'orifice auriculo-ventriculaire.

moins développé, rappelle déjà le « *Papillar muskel des conus arteriosus* » de Luschka.

Le pilier p_3 est ici plus développé que p_2. Il se bifurque avant de prendre insertion à la paroi. Le pilier p_4 est simple et bien à sa place.

Ces différents piliers, au lieu de donner des cordes tendineuses comme chez les Marsupiaux, et les Mammifères placentaires, se dirigent, en se subdivisant très peu, vers l'anneau orificiel auquel ils prennent attache. Pour ce faire, ils se sont appliqués sur la face ventriculaire de la valvule sans rien perdre de leur forme (la face orificielle de la valvule est entièrement lisse).

Le second cœur d'Ornithorhynque que j'ai examiné ne diffère de la fig. 15 qu'en ce que p_4 a disparu et que p_3 est moins développé.

Si nous considérons les dessins donnés par Lankester dans ses deux mémoires, et la figure de Beddard, nous voyons que les cœurs que ces auteurs ont décrits ont une grande ressemblance avec les deux miens. Les piliers p_1 et p_2 sont constants; p_4 a disparu et p_3 est plus ou moins développé. Quand à p_m il n'en est point fait mention.

Je ne saurai donc, comme le fait Lankester, admettre que la valvule est *charnue* parce que la membrane joue un rôle secondaire : « It is thus quite clear that the description of the right auriculo-« ventricular valve of *Ornithorhynchus* as « fleschy » is quite correct; « membrane, though present, plays a subordinate part as compared « with what is seen in other Mammalia ».

En disant que la valvule est charnue, on est tenté de la comparer avec ce qui existe par exemple chez les Oiseaux où il n'y a pas trace de membrane. Cet adjectif doit donc être abandonné et la valvule externe de la valvule droite d'Ornithorhynque doit être considérée dans son vrai sens, comme *musculo-membraneuse*. Lankester dit lui-même que dans le cœur le plus charnu qu'il a rencontré il existait deux bandes membraneuses à droite et à gauche de ce qu'il appelle « le muscle papillaire antérieur », c'est-à-dire de p_2 .

Valve interne. — La valve interne (fig. 15 B) est beaucoup plus simple que la précédente. En arrière de p_4 se voit un pilier p_5 assez développé, puis une corde tendineuse que j'appellerai p_6 déjà très réduite. La membrane, qui à partir de p_5 ne présente plus de colonnes musculaires, s'accole contre la cloison et semble disparaître en *a*. La limite inférieure représentée dans le dessin est factice, car ni à l'œil ni à la loupe on ne peut la reconnaître, et on croit avoir devant soi le revêtement endothélial de la cloison. Mais, comme je l'ai déjà dit, en regardant de près par l'oreillette droite l'orifice auriculo-ventriculaire, on constate qu'il est continu. La valvule est donc complète. Comment la délimiter. C'est alors que l'idée me vint de passer derrière p_5 et p_6 un stylet cannelé qui s'enfonça sans difficulté. J'en conclus qu'il existait un espace réel et non virtuel entre la cloison et ce que je prenais pour l'endocarde. Un coup de ciseaux suffit pour écarter mes derniers doutes, et je pus séparer et rabattre les deux segments dont je constatai les insertions supérieure (à l'anneau orificiel) et inférieure (suivant la ligne pointillée commençant en *a*).

Dans un deuxième cœur, seul p_5 était présent. La même manœuvre me permit de reconnaître qu'il existait une membrane au-devant de la cloison, membrane qui se confond en bas, intime-

ment avec l'endocarde. Que manque-t-il à cette membrane pour constituer la valve septale complète décrite par Beddard ? Quelques colonnes tendineuses. Mais dans le cœur d'Ornithorhynque, où le caractère est précisément de manquer de colonnes tendi-

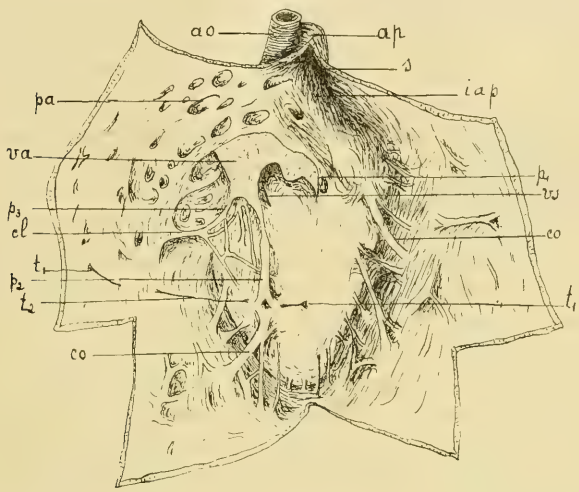


Fig. 16. — Cœur d'*Echidna hystrix ; ao*, aorte ; *ap*, artère pulmonaire ; *iap*, infundibulum de l'artère pulmonaire ; *s*, valvules sigmoïdes ; *pa*, paroi ventriculaire antérieure relevée montrant l'aspect aréolaire de sa face interne ; *co*, colonnes modératrices musculaires des angles du ventricule ; t_1, t_2, colonnes modératrices tendineuses ; *va*, valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire ; *vs*, insertion de la valve interne à la cloison ; p_1, p_2, p_3, piliers musculaires s'insérant directement à la valvule sans intervention de cordes tendineuses ; *cl*, anastomose du pilier p_3 avec la paroi externe.

neuses, comme l'a fait remarquer Lankester en insistant, nous ne saurions demander trop.

Je crois donc pouvoir affirmer que la valve septale d'*Ornithorhynchus* existe alors même qu'elle paraît manquer. Peut-être les cœurs observés par Lankester entraient-ils dans le cas des deux que je viens de décrire. On comprendrait difficilement en effet que la valve septale si développée du cœur de Beddard pût disparaître complètement chez la même espèce.

Je pense de plus, ainsi que je le dis dans ma note [19], en réponse à la question posée par Beddard, que dans les cœurs normaux, la valve septale doit exister toujours chez *Ornithorhynchus*,

mais est très peu développée et n'arrive que tout à fait exceptionnellement au degré de perfection décrit par l'auteur anglais.

Echidna hystrix. — Je ne connais comme représentant le ventricule droit d'Échidné que les trois figures 5, 6 et 7 de la planche IV du mémoire de Lankester [**17**]. C'est donc une rare aubaine pour moi d'avoir pu étudier au Muséum trois cœurs d'*Echidna histrix.*

Le ventricule droit d'Échidné est assez vaste (fig. 16). Comme celui d'Ornithorhynque, il est traversé par un grand nombre de colonnes modératrices soit musculaires, soit tendineuses (*co*, t_1, t_2). Les angles résultant de la rencontre des deux cloisons sont occupés par des colonnes charnues très développées dont la plupart constituent de véritables colonnes modératrices.

L'infundibulum pulmonaire est spacieux et limité à droite par le *muscle de l'infundibulum* qui est peu développé dans la figure 16. L'entrée de l'artère est gardée par les trois valvules sigmoïdes classiques. Derrière la valvule droite se voit, comme chez Ornithorhynque et chez les Marsupiaux, la *valvule primitive de l'aorte gauche.* Evidemment, ces cœurs étant de petite dimension, il faut regarder de près pour reconnaître cette formation intéressante.

L'orifice auriculo-ventriculaire est sensiblement elliptique. Il est bordé par la valvule auriculo-ventriculaire qui prend insertion sur l'anneau fibreux. L'axe de cette valvule est dirigé de haut en bas, de droite à gauche et légèrement d'arrière en avant.

Owen, dans son « *Anatomy of Vertebrates* » (vol. III, p. 517) s'exprime ainsi : « La valvule tricuspide est membraneuse et « consiste en une portion principale fermant l'angle externe ; le « bord libre de la valvule est attaché à l'extrémité d'une large « colonne charnue naissant par différentes racines des deux parois « ventriculaires. Une courte colonne charnue est attachée à l'extré- « mité gauche de la valvule ; quelques cordes tendineuses sont « fixées à son angle droit ».

Lankester [**17**], dans son mémoire de 1883, signale deux faits importants : 1° « La substance membraneuse de la valvule n'est pas traversée par les colonnes musculaires ou muscles papillaires en connexion avec elle ; 2° il y a absence totale de valve septale : » « ...is feature is the total absence (in the two specimens studied « by me) of a septal flap. » Et Lankester conclut : « *Nous sommes à même de formuler comme caractère distinctif des Monotrèmes avec les Mammifères une particularité de la valvule cardiaque droite : Ce n'est pas sa constitution musculaire, mais l'absence d'une valve septale.* »

Carl Röse en 1890 ([40] p. 82) a étudié un nouveau cœur d'Echidné qu'il décrit ainsi : « Comme Lankester, j'ai trouvé chez *Echidna* la « valvule modifiée et différente de celle d'Ornithorhynque. En effet « il n'y a pas de faisceaux musculaires traversant la valvule fibreuse ; « ainsi que l'a vu Lankester, ces faisceaux se terminent à son bord « libre. Quant à la portion septale elle est beaucoup plus développée « et ressemble à la description que Gegenbaur a donnée d'Ornitho-

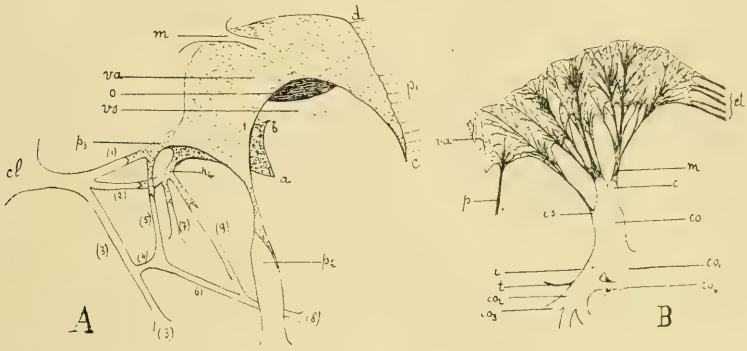


Fig. 17. — A, *valvule auriculo-ventriculaire droite d'Echidna hystrix* N° 1, grossie ; p_1, insertion directe de la valve antérieure *va* au muscle de l'infundibulum de *c* à *d* ; de *a* à *b*, insertion à la cloison ; *vs*, valve postérieure très réduite ; p_2, p_3, p_4, piliers musculaires aplatis ; (*1*), (2), (3), (*4*), (*5*), (*6*), (7), (*8*), (*9*), piliers musculaires anastomostiques mettant la valvule en communication avec la paroi libre par la colonne *cl* (le pointillé indique la limite membraneuse des piliers ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire. — B, *pilier* p_2 *grandeur naturelle du ventricule droit de Macropus giganteus et partie de la valve antérieure qui lui fait suite*; *c*, cône primaire ; *cs*, cône secondaire du pilier donnant naissance aux cordes tendineuses *m*, qui vont se diviser en cordes de trois ordres sur la valvule ; *ct*, cordes tendineuses d'insertion au muscle de l'infundibulum ; *co*, partie libre du pilier ; *i*, son insertion à la cloison ; co_1, co_2, colonnes tendineuses l'unissant à la paroi libre par les subdivisions co_3, co_4; *t*, corde tendineuse entre la cloison et co_2 ; *p*, corde tendineuse se rendant au pilier p_3 non représenté.

« rhynque. Cette valvule septale est unie en arrière directement à la « valvule marginale. C'est une formation homogène très mince qui « s'insère à l'anneau médian de l'orifice, puis verticalement au « septum ventriculaire. Il se termine en bas par un bord tranchant « libre. »

Comme on le voit, de même que pour le cœur droit d'Ornithorhynque, la question est loin d'être éclaircie pour l'Echidné. Puissent les résultats que j'ai observés dans les trois cœurs d'Echidné que j'ai étudiés jeter quelque lumière sur ce point délicat.

La fig. 16 représente la valvule dans sa position naturelle. Les fig. 17 et 18, grossies, donnent les détails de deux des valvules considérées isolément.

Dans la valvule A fig. 17 la valve externe *v* est très développée. Elle s'insère en haut sur le pourtour externe de l'anneau orificiel. A gauche elle s'attache en *cd*, le long d'une lame musculaire mince provenant du muscle de l'infundibulum. A droite elle fait le tour de l'orifice auriculo-ventriculaire. En bas nous allons retrouver les trois piliers p_2, p_3 et p_4. Le pilier p_3 est à peu de choses près à la place que nous lui connaissons. Mais dans ce cas particulier il a perdu sa forme conique et s'est aplati transversalement. L'insertion de la corde tendineuse unique et également aplatie à laquelle il donne naissance se fait en biseau. Les deux piliers p_3 et p_4 présentent une singulière disposition : par l'intermédiaire d'une série de colonnettes musculaires anastomosées ils dépendent en même temps de la paroi libre et de la cloison, et communiquent ensemble. En effet, de la paroi libre part une colonne charnue *cl* qui se divise en trois branches : la branche (1) se rend au pilier p_3, la branche (2) se rend à p_4, et la branche (3) va s'insérer à la cloison. La colonnette (3) donne à son tour une branche (4) (5) qui va compléter p_2, après avoir reçu une anastomose (6) du petit pilier (8). Ce pilier secondaire (8), qui naît de la cloison, va par le trajet (9) renforcer p_4 qu'un second pilier secondaire (7) complètera. En somme, cette disposition compliquée peut se comprendre ainsi : chacun des deux piliers p_3 et p_4 naît primitivement de la cloison, secondairement de la paroi libre; et ce n'est que subsidiairement que l'anastomose a lieu.

La valve externe, avant de se contourner à droite, reçoit à sa partie supérieure, et tout près de l'anneau orificiel une petite colonne charnue *m* provenant de la paroi ventriculaire externe.

Si nous cherchons sur la figure ce que devient la valve antérieure, nous voyons qu'elle se termine brusquement à la cloison sur laquelle elle s'insère en *a b*. De même que chez Ornithorhynque, on est tout d'abord amené à se figurer que la valve septale manque entièrement, et que la valvule d'*Echidna* est incomplète sur un bon tiers de sa circonférence. Ce qui semble donner plus de poids à cette hypothèse, c'est que le stylet cannelé qui nous avait servi pour *Ornithorhynchus* refuse de pénétrer derrière *ab*. Or, si on considère l'orifice auriculo-ventriculaire par l'oreillette droite ouverte, on voit que son bord est continu. Faut-il en conclure que la valvule est complète malgré notre observation ? Je crois pouvoir répondre

hardiment *oui*. En effet, si je pousse le stylet de droite à gauche en remontant le long de la ligne d'insertion *ab*, je constate, arrivé au point *b*, que la résistance disparaît et que le stylet s'enfonce. Il y a donc à ce niveau, entre la cloison et ce que je prenais pour l'endocarde, un espace réel. Un coup de ciseaux pratiqué transversalement, comme je l'avais fait pour *Ornithorhynchus*, nous montre l'existence d'une membrane *non adhérente* à la cloison : c'est la valve septale de la valvule, valve septale qui, comme dans mes deux cœurs

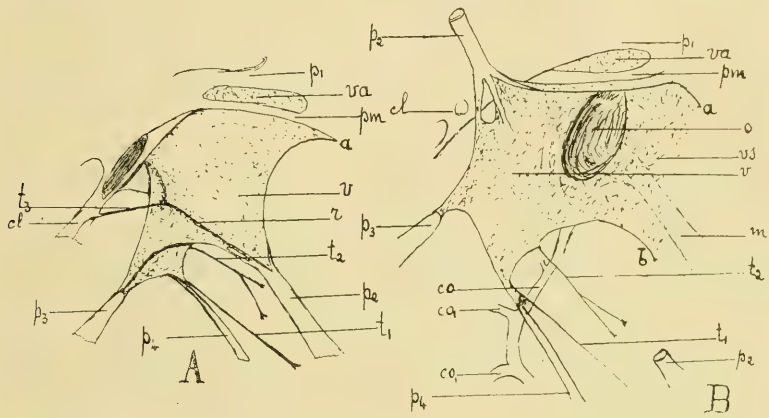


Fig. 18. — Valvule auriculo-ventriculaire droite d'*Echidna hystrix* N° 2, isolée et grossie. A, la valvule complète. B, la même dont la valve antérieure sectionnée est relevée de façon à montrer la valve septale ; p_1, p_2, p_3, p_4, *pm*, piliers musculaires (p_2 est sectionné) ; t_1, t_2, t_3, colonnes tendineuses ; *co*, colonne charnue aplatie s'insérant à l'anneau orificiel d'un côté, à la cloison de l'autre ; co_1, brides réunissant *co* à la cloison ; *v*, valve antérieure ; *vs*, valve septale en partie adhérente à la cloison en *a* et *b* ; *va*, partie de la valve antérieure entre p_1 et *pm* ; *r* repli de la valve antérieure reliée à une colonne *cl* de la paroi libre ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire.

d'Ornithorhynque, ne possède aucune corde tendineuse, et s'insère directement sur la cloison.

Avant de quitter ce cœur d'Echidné N° 1, je dirai que je n'ai pas pu reconnaître de fibres musculaires dans la constitution de la valvule. Mais il est facile, par le simple examen de la fig. 17 A, de voir que les piliers restent charnus jusqu'à une très faible distance du rebord de la valvule. Il se peut, comme dit l'avoir constaté Carl Röse, que des fibrilles passent dans la membrane valvulaire. D'autre part, j'ai fait remarquer en *m* l'existence d'une colonne charnue insérée directement sur la membrane.

La valvule du cœur N° 2 que je vais maintenant décrire est des plus intéressantes.

Cette valvule est représentée fig. 17. En B elle est sectionnée et la valve externe est relevée pour montrer la valve septale.

On voit que les piliers p_2, p_3, p_4 se retrouvent à leur place habituelle. Le muscle de l'infundibulum p_1 donne insertion directement à la membrane valvulaire.

Il est très intéressant de comparer la fig. 17 avec la fig. 16 d'Ornithorhynque. Comme dans cette dernière, en effet, nous remarquons ici une colonne charnue *pm* qui traverse la valvule dans toute sa hauteur. Mais tandis que chez Ornithorhynque cette colonne est en grande partie isolée, chez Echidné n° 2 qui nous occupe, elle fait corps avec le muscle de l'infundibulum. L'espace *o* de la fig. 15 a disparu ou mieux s'est comblé par l'apport de la membrane *va*. Il est bon de noter dès maintenant cette tendance au développement de la partie membraneuse de la valvule.

Le pilier p_2 est simple, fort, et reste charnu jusqu'au bord même de la valvule. On peut constater sur les deux figures A et B qu'il se divise en trois branches également musculaires qui vont se perdre dans l'épaisseur de la valvule. Sur la face antérieure de la valve externe la branche médiane ainsi formée provoque un repli de la membrane qu'accentue plus profondément une petite corde musculo-tendineuse ct_3 qui unit cette valve à la partie supérieure de la paroi ventriculaire libre.

Le pilier p_3 est identique à p_2 mais moins développé. Il ne donne pas, ou ne semble pas donner, de prolongements musculaires dans le corps de la valvule.

Le pilier p_4 qui est représenté trop à gauche de p_3 sur la figure (à droite par rapport au lecteur) est aussi formé par un simple cône musculaire très allongé et peu volumineux. Comme p_3, il ne donne pas de corde tendineuse, mais s'insère directement à la membrane valvulaire. Je n'ai pas pu constater non plus de prolongements musculaires de la membrane. Leur existence cependant ne m'étonnerait pas.

Tout près de p_4 vient s'insérer au rebord valvulaire une corde tendineuse grêle t_1 provenant directement de la cloison. Un peu plus loin se remarque une autre corde tendineuse du même genre, t_2, qui se bifurque avant de prendre contact avec la cloison.

La fig. B montre que la valvule se termine brusquement en *b*. La distance qui sépare les points *a* et *b* paraît dépourvue de valve septale. Mais comme le pourtour orificiel est complet, il est facile

de deviner que nous nous trouvons en présence d'un cas identique à celui que j'ai décrit chez Ornithorhynque et chez Echidné n° 1. Ici, une colonne de 3me ordre *cl* de la cloison se retrouve non adhérente à la valve septale quand on sectionne celle-ci derrière laquelle elle était cachée. Le cœur n° 3 est absolument semblable au n° 2. Il n'y a de différence que dans le nombre et la disposition des cordes tendineuses. Le pilier p_2 s'insère d'autre part directement à la valvule sans se diviser dans l'épaisseur de cette valvule.

Mammifères placentaires.

Le ventricule droit des Placentaires, y compris l'Homme, est construit sur un même type général. Cependant, quelques différences notables méritent de retenir l'attention.

Chez aucun Placentaire, le ventricule ne descend jusqu'à la pointe du cœur. Dans beaucoup de cas, sa limite inférieure s'arrête même à la partie médiane de l'organe. Il est placé tout à fait à droite, et, pour voir de face la valvule auriculo-ventriculaire, il faut tourner le cœur d'un angle qui varie entre 30° et 90°. La paroi externe s'épaissit relativement. Chez certaines espèces, comme je l'ai constaté chez l'Aïra (*felis eyra*), elle est lisse, tandis que, chez le Jaguar (*felis onca*), les colonnes charnues de troisième ordre qui la parcourent sont excessivement développées et forment de véritables cavernes. On ne peut donc ajouter aucune importance à leur présence ou à leur absence quand deux espèces aussi voisines présentent une telle différence.

J'ai toujours trouvé des colonnes modératrices, tantôt musculaires, tantôt tendineuses. Il semble que la colonne constante placée sous le pilier p_2 des Marsupiaux et des Monotrèmes se retrouve chez presque tous les Placentaires. Chez le Jaguar, cette formation était représentée par une lame membraneuse aplatie très large et trouée, s'étendant sur un bon tiers de la largeur du ventricule.

La partie vraiment intéressante du ventricule droit, celle qui fera l'objet des comparaisons les plus importantes avec les Implacentaires, les Oiseaux et les Reptiles, c'est la valvule auriculo-ventriculaire. Elle est toujours membraneuse, mais elle présente dans les détails des variations qui ne peuvent manquer de frapper un observateur attentif. C'est pourquoi je trouve un peu exagérée cette opinion de Carl Röse ([**40**] p. 85) : « Ainsi que Lankester, je considère comme de peu d'importance que les muscles papillaires prennent naissance au septum, à la paroi latérale ou entre les deux ». J'ai eu occasion d'étudier un nombre très respectable de cœurs. Je

n'ai pas observé les écarts si considérables dont parle Carl Röse. Je n'ai jamais rencontré par exemple, chez les Marsupiaux, de piliers s'insérant uniquement sur la paroi libre. Si dans quelques cas, un pilier *inséré nettement sur la cloison* envoie des prolongements à cette paroi libre, on ne saurait méconnaître que le point de départ est la cloison. J'ai eu moi-même souvent l'occasion de remarquer combien était variable le volume de ces prolongements chez les animaux dont les piliers s'insèrent dans l'angle des deux parois ventriculaires. Et l'on comprendra facilement que le pilier intéressé peut dépendre dans ces cas tantôt de l'une tantôt de l'autre paroi.

Ce qui caractérise le cœur des Mammifères placentaires, c'est la division, chez la grande majorité des espèces, de la valvule en trois lobes. D'où son nom de valvule *triglochine* ou *tricuspide*. Mais j'avoue être resté quelquefois perplexe devant certains cœurs de Jaguar ou d'Aïra pour reconnaître les trois valves classiques.

Je me demande comment Carl Röse a pu écrire [**40**] (p. 83) à propos des Marsupiaux : « La valvule droite est semblable à celle « des Mammifères supérieurs. En effet elle comprend une valve « septale médiane et deux valves latérales ». Il suffit de se reporter à la description que j'ai donnée plus haut et aux figures qui s'y rapportent pour rejeter une telle assimilation.

Le valvulve tricuspide est longuement décrite dans les ouvrages d'anatomie humaine et d'anatomie comparée.

D'une manière générale, on peut dire que dans le cœur des Placentaires les piliers p_2, p_3 et p_4 des Marsupiaux se retrouvent avec leurs caractères particuliers. Dans les cas où il n'existe qu'un seul pilier médian très large comme chez le *pac* ou le *cabiai* (10 et 12, fig. 11) il est facile de comprendre que ce pilier doit être le résultat de la fusion des trois. Dans la valvule d'un *Aïra* représentée en 11, même figure, j'ai trouvé le meilleur exemple du fait que j'avance. A première vue, en effet il semble que l'on soit en présence d'un nombre exagéré — six — de piliers. En regardant de près on s'aperçoit qu'il n'en est rien, car le pilier p_2 est formé de trois colonnes et p_4 de deux. — Le muscle de l'infundibulum est plus ou moins développé et remplit toujours le rôle de p_1. Je l'ai vu dans un cœur de Loutre *(lutra brasiliensis)* se continuer sous forme d'une forte colonne charnue de troisième ordre étendue longitudinalement sur toute la hauteur de la paroi libre qu'il sépare, comme une crête, en deux moitiés à peu près égales.

Le pilier *pm* qui forme le « *papillar muskel* » du cœur humain,

occupe des positions variables. Il peut naître directement de p_1 ou immédiatement au-dessous. Le cas le plus intéressant que j'ai rencontré est celui du *Cabiai*, chez lequel ce pilier naît à l'angle des deux parois et va s'insérer, non sur le bord libre de la valvule, comme de coutume, mais par ses cordes tendineuses, *sur le milieu de la surface externe de cette valvule* (12, fig. 10) : c'est la disposition de la corde tendineuse t_4 du cœur d'Echidné n° 2 (fig. 18).

Quant à la valve septale, elle est toujours très développée et naît de la cloison par 2, 3 ou 4 colonnes tendineuses assez longues, de telle sorte que son plan d'insertion est très peu élevé au-dessus de celui de la valve externe et s'écarte de l'anneau orificiel.

Chez les Marsupiaux au contraire ce plan s'élève de plus en plus, de *Macropus* à *Didelphys*. Chez les Monotrèmes, l'insertion directe de la valve septale sur la cloison, sans intervention de cordes tendineuses, remonte encore ce plan qui atteint sa limite la plus supérieure dans le cas que j'ai rencontré chez Echidné n° 1 (fig. 17). La hauteur de la valve septale suit donc une progression croissante d'Echidné à l'Homme.

Oiseaux.

« Le ventricule droit est vraiment la partie caractéristique du cœur des Oiseaux » (Sabatier [**41**] p. 125).

Il a été l'objet de nombreuses descriptions sur lesquelles je ne reviendrai pas et depuis longtemps on sait avec quelle homogénéité il se présente dans toute la classe des Oiseaux. Je me contenterai de faire ressortir quelques points de détail que j'ai bien étudiés et j'essayerai de donner de la valvule musculaire une description simplifiée qui permettra de mieux comprendre ses relations avec les cœurs de Mammifères d'une part et les cœurs de Reptiles et Batraciens d'autre part.

Je crois avoir remarqué que les colonnes charnues de deuxième ordre que nous avons rencontrées avec un développement variable dans les angles antérieur et postérieur du ventricule des Mammifères sont plus nombreuses et plus saillantes chez les Oiseaux à vol soutenu. Chez *Sarcorhampus papa* par exemple, elles sont larges et aplaties transversalement. Mais dans aucun des cœurs que j'ai examinés je n'ai rencontré le « moderator band » décrit par Rolleston chez *Casuarius*. Comme tous les auteurs j'ai toujours trouvé la surface de la cloison remarquablement unie. La paroi externe au contraire est parcourrue par des colonnes charnues de 3me ordre sculptées à sa surface. Ces colonnes m'ont paru plus régulières que

chez les Mammifères et se dirigent, en rayonnant, vers l'anneau orificiel. Le muscle de l'infundibulum des Mammifères n'est pas saillant, et le passage de l'orifice auriculo-ventriculaire à l'artère pulmonaire se fait insensiblement, quoique la distance qui sépare ces deux orifices soit assez grande. L'infundibulum de l'artère pulmonaire en devient moins net et moins vaste.

Comme chez les Mammifères il existe trois valvules sigmoïdes à l'artère pulmonaire. Elles sont très grandes, minces et dépourvues de nodule de Morgagni.

Le mouvement de torsion du cœur est égal à celui des Marsupiaux australiens, et comme chez ces derniers, le ventricule ne s'étend pas jusqu'à la pointe du cœur. C'est à peine si dans le cœur d'*Apterix* que j'ai examiné on reconnaît une légère augmentation du diamètre vertical. Quant au diamètre transversal, en raison même de la convexité très prononcée de la cloison interventriculaire, il reste à peu près constant dans les différentes familles ; et l'on sait combien le ventricule droit empiète en avant, à droite et à gauche sur le ventricule gauche.

La valvule auriculo-ventriculaire droite a toujours excité la sagacité des chercheurs, et on n'a pas manqué de demander aux oiseaux inférieurs, en particulier à *Apterix*, l'explication de certains faits litigieux.

A ce sujet il est intéressant de rappeler l'histoire de la valvule d'Apterix.

C'est Owen qui, le premier, en 1841 [**102**], donna une description un peu détaillée de cet organe. Je le cite textuellement : « The « principal deviation from the ornithic type of the structure of « the heart is presented in the valve at the entry into the right « ventricle (pl. III, g, fig. 3). This is characterized in birds by its « muscularity and its free semilunar margin. In the Apterix it is « relatively thinner and in some parts semi transparent and nearly « membranous ; a process moreover extends from the middle of it « free margin, wich process is attached by two or three short « « chordœ tendineœ » to the angle between the free and fixed « parietes of the ventricle. We perceive in this mode of connection « an approach in the present bird to the Mammalian type of « structure analogous to that wich the *Ornithorynchus*, among « Mammalia, offers, in the structure of the same part to the class « of birds ; for the right auriculo-ventricular valve in the *Ornitho-* « *rynchus* is party fleschy and party membranous... »

En 1885, Lankester [**18**] et Beddard [**77**] ont de nouveau étudié

le cœur d'Apterix et n'ont pas confirmé la description d'Owen. Beddard a trouvé dans 3 cœurs d'*A. australis* et 2 d'*A. Oweni*, la valvule atrio-ventriculaire droite entièrement musculaire et dépourvue à son bord des « chordœ tendinæ » décrites par Owen. Chez *A. australis* il y a deux petites « chordœ » étroitement unies ensemble vers la jonction de la valvule avec un lambeau musculaire provenant de la paroi dorsale du ventricule. Ces « chordœ » sont représentées chez *A. Oweni* par un muscle correspondant au « *moderator band* » de *Casuarius*. Et Beddard conclut que le cœur d'*Apterix* ne diffère pas sensiblement du cœur des autres Oiseaux. Pour lui et pour Lankester, le cœur examiné par Owen et qui figure au «Museum of the Royal College of Surgeons,» est un cœur d'Ornithorhynque.

Owen [**24**], en réponse à ces critiques, maintient la description qu'il a donnée en 1841.

En portant dans le débat la faible contribution de l'unique cœur d'*Apterix australis* que j'ai pu étudier, je ne pourrai, comme on le verra, qu'appuyer les vues de Lankester et Beddard (fig. 19 A).

Pour bien comprendre la valvule du cœur droit des Oiseaux, il me paraît plus rationnel de l'étudier en sectionnant son attache inférieure, c'est-à-dire en la séparant de la paroi ventriculaire externe.

Dans ces conditions, on voit (fig. 19 B) que la valvule se présente à la vue par une large valve, *vp*, *va*, à laquelle s'insère un pilier aplati *p*. *Valve et pilier sont entièrement musculaires.*

Examinons séparément ces deux parties.

Valvule. — Nous lui reconnaîtrons : un bord supérieur, un bord inférieur, un bord gauche ou interne, un bord droit ou externe, une face interne et une face externe.

Le *bord supérieur* s'insère au pourtour de l'anneau auriculo-ventriculaire sur un peu plus de la moitié externe de l'orifice, ou en d'autres termes *sur toute la face interne de la paroi ventriculaire libre qui constitue cet orifice*. J'insiste dès maintenant sur ce point important, que la moitié (un peu moins exactement) interne de l'orifice correspondant à la cloison, est vierge de toute formation et fait, d'une manière insensible, le passage de l'oreillette au ventricule.

L'insertion du bord supérieur de la valvule a lieu sans ressaut aussi bien verticalement que transversalement. De telle sorte que, si l'on examine l'orifice auriculo-ventriculaire par l'oreillette droite ouverte, on constate que son pourtour est *continu* et lisse.

Aucun signe, aucune ligne ne permet de reconnaître où commence et où finit la valvule.

Le *bord inférieur* de la valvule est fortement curviligne et dirigé obliquement de haut en bas, d'avant en arrière et de gauche à droite. Sa concavité regarde en bas, en avant et à gauche.

Ce bord est tranchant et son quart antéro-interne reçoit une colonne musculaire *p*, aplatie comme la valvule elle-même, avec laquelle elle se confond insensiblement. En sorte que ce bord inférieur, et du même coup la valvule, se trouvent partagés en deux

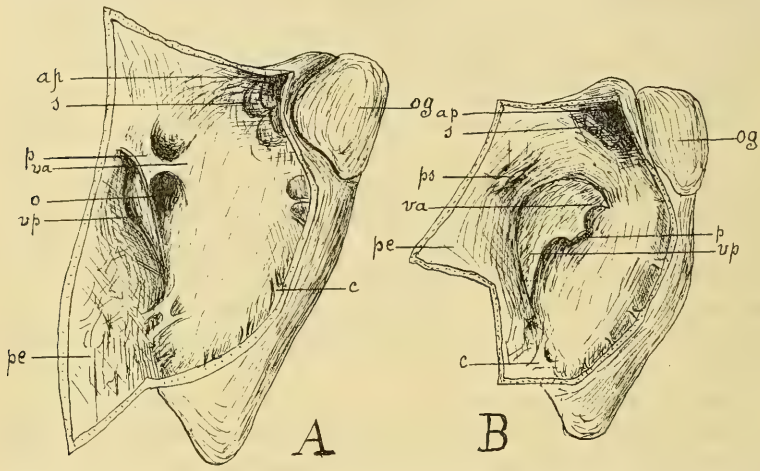


Fig. 19. — A, *Apterix australis*. B, *Anas brasiliensis* chez lequel la valvule a été séparée de la paroi ventriculaire externe ; *ap*, artère pulmonaire ; *s*, ses valvules sigmoïdes ; *pe*, paroi ventriculaire externe ; *va*, valve interne, *vp*, valve externe de la valvule ; *p*, pilier musculaire aplati réunissant les deux, coupé chez B au niveau de son insertion à la paroi externe ; *og*, oreillette gauche ; *c*, colonnes charnues réunissant les deux parois.

portions très inégales : l'une *antéro-interne* égale au quart ou au cinquième de la longueur de ce bord, l'autre *postéro-externe*, égale à ses 3/5. La longueur du pilier représente le dernier cinquième.

Le *bord gauche*, inséré à la cloison interventriculaire et en avant, est peu étendu. Il est dirigé obliquement de haut en bas, d'arrière en avant et de droite à gauche.

Le *bord droit*, qui est sur un plan postérieur, est quatre ou cinq fois plus étendu que le gauche ; il prend insertion dans l'angle que la paroi ventriculaire externe fait avec la paroi septale, et s'étend sur plus de la moitié du sillon ainsi formé.

La *face interne* est lisse. Limitée par les quatre bords, elle pré-

sente une large surface concave qui regarde en haut, à gauche et en avant par ses trois quarts postérieurs; en bas, à droite et en arrière par son quart antérieur.

La *face externe*, également lisse, s'étend de même entre les quatre bords et représente une surface convexe tournée vers la paroi ventriculaire libre.

Dans son ensemble, la valvule du cœur droit partage le 1/3 supérieur du ventricule de l'Oiseau en deux couloirs parallèles : l'un qui se termine supérieurement en cul-de-sac au niveau de la rencontre de la valvule et de la paroi ventriculaire externe avec l'anneau orificiel; l'autre qui s'ouvre librement dans l'oreillette droite et constitue le canal auriculo-ventriculaire.

La valvule ainsi décrite se retrouve IDENTIQUE *dans le cœur de tous les Oiseaux*. D'autre part on peut dire *qu'elle est toujours musculaire* et c'est à peine si on peut distinguer quelques variations d'importance dans sa constitution. Je l'ai trouvée plus épaisse dans les Oiseaux plongeurs, comme le Canard, et moins chez les espèces à vol puissant, comme le Vautour. Les Poules, Dindes, Oies et autres Oiseaux ayant perdu en grande partie l'habitude du vol, présentent une épaisseur moyenne.

A ce point de vue le cœur d'*Apterix australis* que j'ai étudié était intermédiaire entre les Vautours et les Oiseaux de basse-cour. *Sa valvule est identique à celle de tous les autres Oiseaux que j'ai examinés.* Sa minceur relative seule a attiré mon attention. J'ai cherché en vain les cordes tendineuses décrites par Beddard, et le « moderator band » que Rolleston a signalé chez *Casuarius*.

Si nous considérons l'épaisseur des deux parties *va* et *vp* (fig. 19 B) de la valvule, nous voyons que, quel que soit le développement de *vp*, la région *va* est toujours plus mince. En particulier chez *Apterix australis* et chez *Sarcorrhamphus papa*, cette région que j'appellerai dorénavant *valve antérieure* pour la distinguer de *vp* qui deviendra la *valve postérieure*, est semi-transparente. Je ne dis pas qu'elle soit membraneuse. En effet, en l'examinant à contre jour, on voit qu'elle est parcourue par des fibres musculaires très nettes et séparées en faisceaux, provenant de l'anneau orificiel et de son bord interne.

Dans un cœur frais de Canard domestique que j'ai sous les yeux au contraire, cette valve antérieure, *va*, est, par exception, *manifestement membraneuse* : j'y cherche en vain des fibres musculaires, car sa minceur et sa transparence tranchent sur le rose chair du reste de l'organe. L'*Anas brasiliensis*, qui vole beaucoup, ne présente pas ce caractère.

Pilier. — La formation *p* que je désigne sous le nom de *pilier* et qui réunit la valvule musculaire précédente à la paroi ventriculaire libre ne peut être considérée à mon avis comme faisant corps avec la valvule, ainsi qu'on l'a toujours décrite. Par sa situation, par ses caractères, par son orientation et par son rôle, il m'est difficile de ne pas reconnaître en elle un pilier, absolument semblable, à l'existence, près des cordes tendineuses, au pilier antérieur de beaucoup de Mammifères placentaires et en particulier au pilier charnu d'*Ornithorhynchus*.

Très courte — presque carrée — cette colonne musculaire est aplatie et permet de lui reconnaître 4 bords et 2 faces. 1° Le bord *supérieur* se confond avec une partie du bord inférieur de la valvule. 2° Le bord *inférieur* s'insère à la face interne de la paroi ventriculaire externe ou libre, à la rencontre du tiers supérieur de cette paroi avec ses deux tiers inférieurs. Le contact a lieu par une série de fibres plus ou moins saillantes qui rayonnent vers la base, la pointe et l'angle antérieur gauche du ventricule ; 3° les deux bords *antérieur* ou *gauche* et *postérieur* ou *droit* sont libres et légèrement tranchants dans la cavité ventriculaire. 4° Les deux faces sont lisses et légèrement bombées : l'*externe* regarde la paroi libre, l'*interne* la cloison.

Il suffit de supposer un moment que la lame *p* s'arrondisse, s'allonge et s'insère sur la cloison, pour avoir le gros pilier unique décrit par Lankester dans plusieurs cœurs d'*Ornithorhynchus*.

Ce n'est donc pas par un simple artifice de l'esprit que je considère la formation *p* comme un vrai pilier. Si les auteurs qui ont étudié la valvule droite des Oiseaux, l'avaient examinée dans sa position naturelle, c'est-à-dire étalée, et non relevée avec la paroi ventriculaire externe, ils n'auraient pas manqué de faire la même remarque que moi.

Et puis, pourquoi le cœur d'Oiseau n'aurait-il pas subi les mêmes influences qui ont présidé à la formation des piliers de la valvule des Mammifères ? Le fait est si vraisemblable et si probable que Gegenbaur, Lankester, Beddard croient voir chez l'Apterix et les Condors des rudiments de muscles papillaires dans les formations extra-valvulaires qu'ils décrivent.

Beddard [77 bis, p. 144] écrit que dans *Chunga burmeisteri* « the « margin of the valve is tied down to the free ventricular wall by « several delicate muscular or tendineous threads in addition to the « large fleshy bridge wich is a constant structure in the bird's heart».

Je n'ai pas rencontré ces caractères chez *Sarcoramphus papa*, mais

j'ai déjà insisté plus haut sur la structure de la valve antérieure *va* chez cet Oiseau. Les fibres musculaires que j'y ai décrites deviennent excessivement rares entre le bord gauche de la valvule et le niveau où le pilier *p* aborde cette valvule. Je reviendrai sur cette particuliarité en étudiant la valvule d'Alligator qui a fait l'objet des comparaisons de Gegenbaur, Lankester et Beddard.

En résumé, dans le cœur d'Oiseau, contrairement a ce qu'a voulu démontrer Beddard dans son mémoire sur le cœur d'Alligator [**77**], la *valve septale ou interne* — qu'il ne faut pas confondre avec la valve antérieure *va*, dépendance de la valve externe — *n'existe pas* (1).

REPTILES A VENTRICULES SÉPARÉS

Crocodiliens

Le ventricule droit des Crocodiliens a été surtout bien étudié par Gegenbaur [**30**], Sabatier [**41**], Fritsch [**86**], Carl Röse [**40**], Lankester [**16**] et plus récemment (1895) par Beddard [**77**].

Mes recherches ont porté sur les cœurs de *Crocodilus acutus*, *Alligator lucius* et *Alligator sclerops*.

Sabatier a magistralement et méticuleusement décrit le cœur d'*Alligator sclerops*. Ses successeurs n'ont guère ajouté de détails à son mémoire, et pour ma part je renverrai le lecteur au chapitre III de sa thèse remarquable. Si la « philosophie naturelle » a pu changer, l'anatomie est restée la même.

Je me contenterai de rappeler dans ses grandes lignes les caractères du cœur crocodilien en insistant plus spécialement sur la valvule auriculo-ventriculaire droite qui a fait particulièrement l'objet de mes recherches : et je répéterai la phrase de Sabatier lui-même : « ici rien n'est à négliger, et tel détail, insignifiant en « apparence, devient, quand il est sérieusement considéré, un véri- « table trait de lumière. » (p. 78).

On sait que c'est chez les Crocodiliens, en remontant l'échelle des Vertébrés, que l'on rencontre pour la première fois la séparation complète des deux ventricules. Le cœur reptilien ne conserve plus son cachet d'origine que par la présence du foramen de Panizza que j'appellerai à l'avenir, avec H. Milne-Edwards, *pertuis aortique*, puisqu'il est avéré que ce n'est pas Panizza qui l'a découvert.

(1) Il faut comprendre la valvule complète comme étant formée par deux valves : A) valve *septale* ou *interne* ; B) valve *externe*, qui peut être simple ou se diviser à son tour en : α) valve *antérieure* et β) valve *postérieure*. Telle est l'origine de la tricuspide du cœur humain.

La cavité du ventricule droit descend très près de la pointe, sans jamais l'atteindre cependant.

Elle est surtout antérieure et ne contourne pas le bord droit du cœur comme nous l'avons constaté à des degrés divers chez les Mammifères et les Oiseaux.

Un peu à droite de sa base prend naissance le *faisceau artériel* formé par l'artère pulmonaire et l'aorte gauche bientôt rejoints par l'aorte droite provenant du ventricule gauche. A l'extérieur, le renflement constitué par ces trois vaisseaux réunis ensemble par un tissu fibreux serré, forme le *cône artériel* (l'expression « bulbe artériel » que Bishoff a proposée peut porter à confusion avec le bulbe des Batraciens).

Entre les orifices de l'aorte gauche et de l'artère pulmonaire se trouve un noyau ostéo-cartilagineux qui, comme l'a très bien reconnu Sabatier, donne deux apophyses : l'une, antérieure, sépare les deux vaisseaux ; l'autre, postérieure, donne naissance au pertuis aortique, qui, du fait de sa constitution, doit rester constamment béant, entre les deux sigmoïdes des deux aortes.

La face interne du ventricule est tapissée par un tissu spongieux très développé qui diminue notablement la cavité. Ce tissu est aussi développé à la paroi libre que sur la cloison. Il en résulte que la paroi externe paraît relativement épaisse.

Les trois orifices du ventricule droit se comportent différemment. Celui de l'artère pulmonaire, qui est précédé d'un infundibulum, ne présente que deux valvules sigmoïdes au lieu de trois que nous avons toujours rencontrées jusqu'ici. Il est arrondi et très large. Celui de l'aorte gauche, au lieu d'être largement béant, est aplati transversalement, ce qui diminue considérablement la quantité du sang qui y passe. Sabatier décrit même deux demi-anneaux cartilagineux, chez *Alligator sclerops*, — je ne les ai pas observés, — qui diminuent encore l'orifice de l'aorte. Il n'existe, comme dans l'artère pulmonaire, que deux valvules sigmoïdes très haut placées. On sait que c'est derrière l'interne que se trouve le pertuis aortique, dont le pourtour n'est pas arrondi, mais ovalaire.

L'orifice auriculo-ventriculaire est situé à la partie supérieure de l'angle postérieur des deux parois. Il est elliptique et dirigé de haut en bas, d'avant en arrière et de droite à gauche. Il est protégé par une valvule dont l'aspect ne rappelle en rien ce que nous avons trouvé jusqu'à présent chez les Mammifères et les Oiseaux. Quoique cette valvule ait été bien souvent décrite, je vais essayer de montrer, en reprenant sa description, de quelle façon

elle doit être comprise pour pouvoir être comparée avec son homologue chez les Vertébrés supérieurs.

Tous les auteurs lui reconnaissent deux parties : une valve interne fibro-musculaire et une valve externe musculaire. Ce sont ces désignations qu'il faut, à mon avis, conserver, car en appelant valve septale, comme Beddard, la valve interne, on empiète sur le rôle de cette formation tel que nous l'avons considéré jusqu'ici.

La valve externe *ve* (fig. 20) est entièrement musculaire. Elle est plus ou moins saillante non seulement suivant les espèces, mais encore dans une même espèce. Elle est tantôt égale, tantôt inférieure (c'est le cas le plus commun) à la valve interne. Sa forme est celle d'un croissant plus ou moins épais, à bord libre tranchant, dont la concavité regarde en dedans (à gauche) et en bas. Sa base d'insertion reçoit de la paroi ventriculaire externe une série de faisceaux musculaires plus ou moins épais et saillants à la face interne de cette paroi. A sa partie supérieure, la valvule externe s'unit à la valvule interne en un point *a* qui est adhérent à l'anneau orificiel. Tout le dernier mémoire de

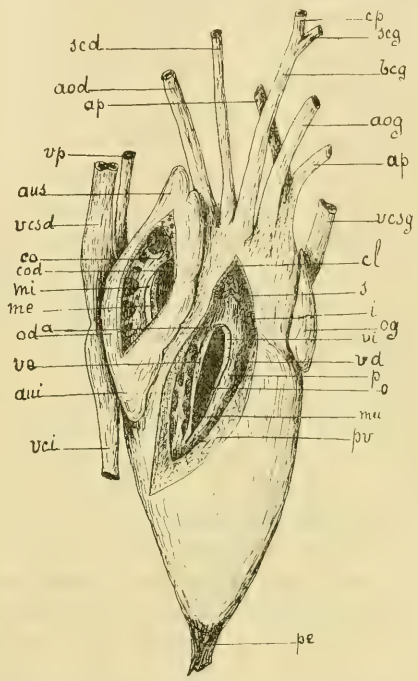


Fig. 20. — Cœur de *Crocodilus acutus* légèrement tourné à droite pour montrer l'oreillette ; *aod*, *aog*, aortes droite et gauche ; *ap*, artère pulmonaire ; *scd*, *scg*, sous-clavières droite et gauche ; *bcg*, tronc brachio-céphalique gauche ; *cp*, carotide primitive ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vp*, veine pulmonaire ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche ; *aus*, *aui*, auricules supérieure et inférieure ; *ca*, colonne charnue séparant la région de l'auricule de l'oreillette proprement dite *cod* ; *mi*, *me*, valvule interne et valvule externe du sinus des veines caves ; *vci*, veine cave inférieure ; *pv*, paroi du ventricule droit ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire droit ; *ve*, valve externe musculaire ; *vi*, valve interne musculo-membraneuse (musculaire en *mu*) de la valvule du cœur droit ; *a*, contact des deux ; *vd*, cavité du ventricule ; *i*, infundibulum conduisant à l'aorte gauche et à l'artère pulmonaire ; *cl*, cloison limite des vaisseaux nés du ventricule droit ; *s*, valvules sigmoïdes ; *pe*, adhérence du péricarde à la pointe du cœur.

Beddard [77] a pour but de démontrer que ce point *a* partage la valvule droite de Crocodile en deux valves superposables aux deux valves qu'il décrit au cœur d'Oiseau.

J'indiquerai en temps opportun pourquoi cette assimilation me paraît invraisemblable.

A sa partie inférieure, la valve *ve* se relie insensiblement à la valve interne.

La valve interne *vi* dans tous les cœurs que j'ai examinés était mi-partie membraneuse, mi-partie musculaire, comme l'a signalé Gegenbaur. La région musculaire *mu* occupe environ le quart ou le cinquième inférieur de la valvule, tandis que toute sa partie supérieure reste membraneuse. Cette région membraneuse était particulièrement développée, aussi bien transversalement que longitudinalement dans un cœur de jeune *Alligator lucius* frais qui m'a été offert par le Dr Petit, préparateur au laboratoire d'histologie du Muséum. Sur le cœur représenté fig. 20, au contraire, elle était très peu développée, mais plus résistante, car son épaisseur était augmentée par l'adjonction de fibres musculaires provenant de la région inférieure *mu*.

La zone d'insertion inférieure visible des deux valves est beaucoup plus large que la zone supérieure *a*. Dans un cœur de *Crocodilus acutus*, la distance entre les deux valves est telle que la valvule paraît incomplète. Je ne pense pas que les auteurs aient insisté sur ce point qui ne manque pas d'intérêt.

En somme, la valvule auriculo-ventriculaire du cœur droit des Crocodiliens est construite sur le même plan que les valvules en boutonnière qui protègent l'orifice des veines caves dans l'oreillette droite. Il semble que la même loi ait présidé à la formation de ces deux appareils de protection. Dans le ventricule, le travail a acquis une plus grande perfection par l'intervention du tissu musculaire. En conservant à la valve interne *vi* une constitution en partie membraneuse, la nature a voulu nous montrer que les valvules des deux cavités sont destinées aux mêmes fonctions.

REPTILES A VENTRICULES COMMUNICANTS

(Sauriens, Chéloniens, Ophidiens)

Sauriens. — C'est chez *Psammosaurus*, *Varanus* et *Monitor* qu'on trouve, parmi les Sauriens, les cœurs les plus développés. J'ai étudié en particulier le ventricule droit de *Dracœna guianensis*. Les cœurs que j'ai eus à ma disposition, en raison de leurs faibles dimensions,

ne m'ont pas permis de pousser mes recherches aussi loin que je l'aurais désiré.

J'ai pu vérifier l'existence d'une cloison interventriculaire bien développée, mais incomplète, telle que l'a bien décrite Sabatier chez *Varanius arenarius*. Cette cloison peut en quelque sorte se superposer à celle d'un cœur de jeune *Alligator lucius* que j'ai disséqué ; car chez ce dernier l'espace libre de communication entre les deux ventricules était comblé par une membrane excessivement mince qui dénote son apparition récente et aurait tout aussi bien pu s'appliquer sur l'orifice interventriculaire de *Dracœna*.

L'épaisseur du ventricule est beaucoup moindre que chez les Crocodiliens. Sa cavité, moins vaste que celle de ces derniers, est cependant supérieure à celle des Ophidiens et dépasse de beaucoup celle des Chéloniens.

L'artère pulmonaire, munie d'un infundibulum, s'ouvre en haut et à gauche, tandis que les orifices auriculo-ventriculaires sont presque symétriquement orientés. Les deux aortes se placent entre le gauche et l'artère pulmonaire.

La valvule auriculo-ventriculaire est très différente de ce que nous avons rencontré chez les Crocodiliens. En raison de la communication qui se fait entre les deux ventricules, elle ne saurait être complète. Pour bien la comprendre il faut la comparer à celle des Chéloniens que j'étudierai en détail plus loin. D'ailleurs, ainsi que le dit Sabatier : « Il n'est nullement nécessaire de décrire « successivement et avec un soin égal le cœur des Chéloniens, des « Ophidiens et des Sauriens ; ces organes ne diffèrent entre eux que « par des nuances... » ([**41**], p. 39).

Chéloniens. — Le cœur des Chéloniens est assez connu. La liste est longue des auteurs qui l'ont étudié. Mais, comme le constatait Jacquart en 1861 ([**94**], p. 343) : « L'étude du cœur de la Tortue « franche ne leur a pas semblé plus importante que celle du premier « Reptile venu ! ».

La paroi spongieuse et épaisse du ventricule diminue considérablement la cavité de l'organe. Mais la nature semble avoir pris plaisir à la réduire encore par ce tissu fibrillaire caverneux à mailles serrées qui double sa face interne. D'autre part l'aplatissement considérable du diamètre antéro-postérieur complète la mesure.

A la base, nous rencontrons les orifices habituels : à droite et sur un plan antérieur (fig. 21) les vaisseaux du faisceau artériel (aorte gauche et artère pulmonaire d'une part, aorte droite d'autre part) ;

sur la ligne médiane, et un peu à gauche, les deux orifices auriculo-ventriculaires. Les deux oreillettes s'ouvrent l'une à côté de l'autre, de part et d'autre de la cloison interauriculaire complète, sensiblement sur un même plan transversal. Cette cloison interauriculaire

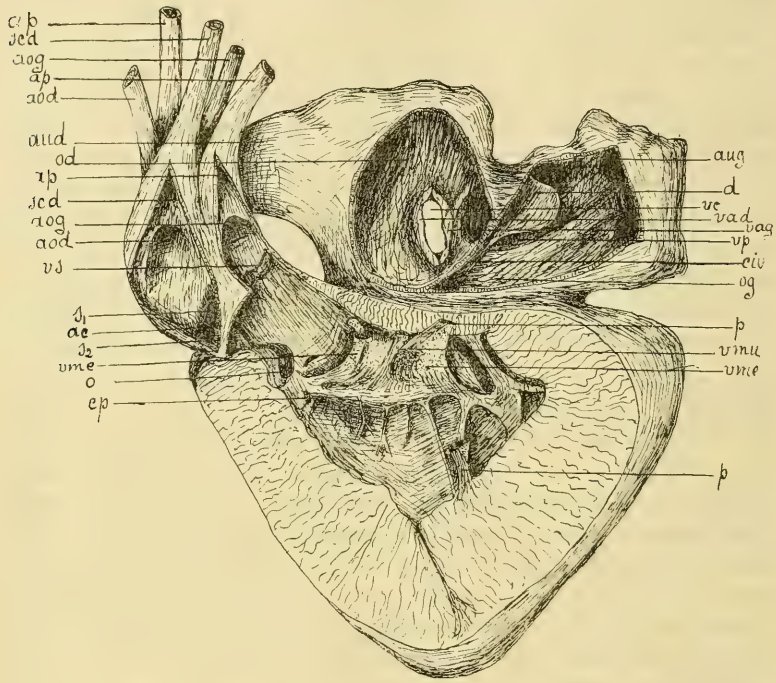


Fig. 21. — Cœur de *Testudo tabulata*, le faisceau artériel est récliné à droite; *ap*, *ap*, artères pulmonaires ; *aod*, *aog*, aortes droite et gauche ; *aud*, *aug*, auricules droite et gauche ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche : *cio*, cloison interauriculaire ; *d*, cul-de-sac qu'elle forme dans l'oreillette gauche ; *vp*, orifice de la veine pulmonaire en partie cachée par *d* ; *vc*, orifice des veines caves avec les deux valvules droite et gauche *vad*, *vag* ; *scd*, artère sous-clavière droite ; *vs*, valvules sigmoïdes de l'aorte gauche ; s_1, s_2, valvules de l'aorte droite ; *vmu*, *vme*, tente valvulaire avec la partie centrale *vmu* musculaire et les parties latérales musculo-membraneuses *vme* ; *o*, communication du ventricule droit avec le ventricule gauche visible après écartement de la paroi ventriculaire ; un peu à gauche se trouve un repli semi-lunaire limitant un orifice borgne ; *cp*, colonne musculaire de la paroi donnant insertion à la valvule; *p*, pilier coupé qui réunit la valvule à la paroi ventriculaire.

occupe une position légèrement gauche à cause de son obliquité. Sabatier la considère comme droite.

L'orifice auriculo-ventriculaire droit est plus grand que le gauche

au moins d'un bon quart. La forme des deux est sensiblement la même : elle est elliptique (plus arrondie cependant du côté droit) ; son grand axe est dirigé de haut en bas, d'arrière en avant et légèrement de gauche à droite pour l'oreillette gauche, tandis qu'il se rapproche de la verticale pour l'oreillette droite.

Les deux orifices sont défendus chacun par deux valvules; mais deux de ces valvules, la gauche de l'oreillette droite et la droite de l'oreillette gauche, se confondent par leur bord interne pour donner la « tente quadrilatère » de Sabatier.

Au moment de rencontrer la tente valvulaire, la cloison interauriculaire perd complètement ses fibres musculaires, et sur un espace égal au moins au tiers de la valvule commune, elle reste mince et transparente.

La valvule du coté droit comprend deux parties : une *valve interne* ou gauche et une *valve externe* ou droite, que nous devrions plutôt appeler valve *postéro-externe* et valve *antéro-interne*, pour préciser leur orientation.

Sabatier (p. 41) émet l'hypothèse que les deux valves internes des deux orifices ne seraient que le résultat du dédoublement de la cloison interauriculaire. Je ne suis pas de cet avis, car, ainsi que je l'ai fait remarquer plus haut, la cloison s'amincit au contact des deux valvules au point de devenir transparente. Si elle s'était dédoublée, il semble qu'elle devrait au contraire se renforcer à ce niveau. D'autre part, en considérant la face ventriculaire de la tente valvulaire commune, on voit qu'elle est continue et ne présente pas trace de sillon de séparation.

Pour les commodités du langage, je décrirai donc, comme mes prédécesseurs, les deux valvules internes comme une valvule commune.

Dans ces conditions, la valvule des Chéloniens se présente sous forme d'une selle de cavalier quand elle est en place, et d'un quadrilatère quand elle est étalée. L'axe de la selle est dirigé de haut en bas et de gauche à droite.

On peut lui reconnaître : un bord supérieur, un bord inférieur gauche, un bord inférieur droit, un bord antérieur gauche, un bord antérieur droit, une face externe gauche, une face externe droite, une face interne gauche, une face interne droite.

Le *bord supérieur* est arrondi et donne insertion à la partie membraneuse de la cloison interauriculaire. Les *bords antérieurs droit et gauche* sont libres dans la cavité ventriculaire ; le droit suit une direction curviligne pour aller s'attacher à la paroi ventricu-

laire ; le gauche, plus irrégulier, offre une double courbure : une supérieure à concavité interne, une inférieure à concavité externe.

Les *bords inférieurs droit et gauche* s'insèrent sur la cloison septale du ventricule et se réunissent à la partie postérieure, au niveau du bord supérieur, c'est-à-dire de l'insertion à la cloison interauriculaire.

Les *faces internes* sont lisses et bombées, à concavités opposées, de façon à circonscrire une cavité en forme de voûte, fermée partout sauf en avant. Dans sa moitié inférieure, la face interne gauche se recourbe vers la gauche, de façon à présenter une convexité qui fait saillie sous la voûte. Plus bas, elle devient postérieure et va se terminer au bord inférieur gauche.

La *face externe droite* regarde l'orifice auriculo-ventriculaire droit ; elle est lisse, bombée, à convexité supérieure et légèrement tournée en arrière.

La *face externe gauche* regarde l'orifice gauche ; elle est lisse et à double courbure : convexe d'abord en haut, c'est-à-dire regardant à gauche, et concave en bas où elle va s'unir au bord inférieur gauche.

La constitution de cette valvule médiane des Chéloniens est très intéressante. La fig. 12, 1, la représente étalée, comme on a coutume de l'étudier, chez *Testudo tabulata*.

On distingue à première vue des parties musculaires et des parties membraneuses représentées en pointillé. Trois colonnes charnues aplaties p_1, p_2, p_3, très courtes réunissent la valvule à l'angle supérieur des parois ventriculaires. Elles jouent le rôle de véritables piliers. p_2 est celui qui correspond à la limite des deux oreillettes, c'est-à-dire à la cloison interauriculaire. Par conséquent, p_1 seul appartient à l'oreillette gauche, tandis que p_2 et p_3 dépendent de l'oreillette droite. Un quatrième pilier p_4 situé à gauche des précédents et près du bord libre de la valvule droite est de nature fibreuse. Il est représenté coupé au moment où il va s'insérer à la paroi ventriculaire antérieure. A ce niveau la valvule est complètement repliée sur elle-même, et le pilier p_4, élargi par un bouton cartilagineux que Sabatier a bien observé, produit une occlusion complète de l'orifice auriculo-ventriculaire. Sabatier fait seulement une légère erreur en décrivant ce bouton fibreux au milieu de la tente valvulaire.

En somme, la valvule commune est composée d'une région médiane musculaire *mu* des deux côtés de laquelle s'étendent deux larges lames membraneuses *me* ; *mu* s'attache à la cloison inter-

auriculaire et les deux lames membraneuses *me* forment les deux valves internes de la valvule propre à chacun des deux orifices auriculo-ventriculaires. La même figure montre encore que la tente valvulaire des Chéloniens provient, par ses fibres musculaires, d'une colonne charnue transversale *col* qui donne naissance sur son bord inférieur libre à une série de colonnettes musculaires petites et délicates qui vont s'insérer à l'angle formé par la réunion de la paroi antérieure avec la paroi postérieure du ventricule.

Quand les cœurs sont conservés dans l'alcool depuis longtemps, il est très difficile, pour ne pas dire impossible, de reconnaître ces détails. Dans des cœurs beaucoup plus gros que ceux de *Testudo tabulata*, provenant de *Chelonia nigrita*, *Ch. midas* et *Thalassochelys caretta*, la tente valvulaire était si rigide qu'il était impossible de différencier même les parties membraneuses des parties musculaires. D'autre part, je n'aurais pas pu y surprendre la position naturelle de l'organe telle que je l'ai décrite. C'est probablement pour cette raison que je n'ai rencontré dans aucun ouvrage une description telle que je viens de la donner.

Les valvules externes des deux orifices sont beaucoup moins développées que les valvules internes. Beaucoup d'auteurs ne les ont pas reconnues. Sabatier lui même, dont l'esprit d'observation est si remarquable, se contente d'écrire (p. 42) : « la valvule interne « de chaque orifice est uniquement formée par un petit repli fibreux « placé au niveau du bord externe de l'orifice, vis-à-vis des valvules « internes ».

En étudiant de très près ces formations, j'ai constaté en effet avec quelle facilité elles pouvaient passer inaperçues, surtout dans les cœurs de petites dimensions. Elles prennent naissance sur les côtés de l'anneau fibreux qui entoure l'orifice auriculo-ventriculaire. Elles sont fibro-musculaires, à peine saillantes dans la cavité, et se présentent sous forme d'un croissant, ou d'un éperon, allongé, à rebord tranchant. Sabatier dit que la valvule gauche — celle du cœur droit par conséquent — est « quelquefois musculaire ». Dans tous les cœurs que j'ai examinés, je lui ai toujours reconnu ce caractère. Elle était le plus souvent franchement musculaire ; quelquefois son rebord devient fibreux.

Pour résumer cette longue description et en tirer une conclusion, je dirai que mes recherches me permettent de considérer la valvule interne droite des Chéloniens — abstraction faite de la valvule gauche qui lui fait suite — comme une lame musculo-membraneuse adhérente par deux de ses bords, libre par un troisième et attaché

directement à des fibres musculaires très courtes et aplaties par le quatrième. La valvule externe est au contraire musculaire, en forme de croissant.

Ophidiens. — Jacquard [93] a insisté d'une façon particulière sur la ressemblance du cœur des Chéloniens avec le cœur d'Ophidien. Il va jusqu'à les trouver « identiques ».

Sans pousser aussi loin les homologies, je me baserai sur les relations étroites qui réunissent les cœurs des deux groupes pour écourter ce chapitre.

La tente valvulaire chez *Trigonocephalus piscivorus* et *Crotalus horridus* présente les mêmes caractères que ceux que je viens de décrire chez *Testudo*. Mais je n'ai pas rencontré de noyau fibreux clôturant l'orifice. Ce noyau existe cependant puisque Sabatier et les différents auteurs le signalent chez Pithon, Boa et autres Ophidiens.

Les valvules externes, quoiques peu prononcées, sont à leur place et présentent la forme en croissant connue. Ce sont deux bourrelets musculaires chez *Trygonocephalus*, *Crotalus* et *Boa*.

Amphibiens et Poissons

Le ventricule étant unique dans ces deux classes, son étude trouvera sa place à la suite du ventricule gauche des groupes supérieurs.

§ IV. — VENTRICULE GAUCHE

Marsupiaux

D'une façon générale, le ventricule gauche des Vertébrés, à partir des Crocodiliens où il acquiert pour la première fois son autonomie, nous présentera chez des Crocodiliens, chez les Oiseaux et chez les Mammifères très peu de différences. Il semble que la nature se soit jugée satisfaite de son œuvre et ait porté toute son action sur le ventricule droit. Il nous suffira donc, puisque nous avons pris les Marsupiaux comme type, de connaître le ventricule chez ce groupe pour en conclure celui de tous les Mammifères et Oiseaux. L'étude de chacune des classes se réduira à celle des différences peu importantes que nous pourrons rencontrer.

Le ventricule gauche des Marsupiaux, ainsi que nous l'avons déjà vu, descend beaucoup moins bas que le droit, en particulier chez les *Didelphys*. Sur une coupe transversale du cœur on peut constater que sa forme est sensiblement circulaire (fig. 5, 6, 7, 8, pl. III).

Les parois sont très épaisses ; celles du ventricule droit n'en mesurent que le 1/3 ou le 1/4 comme le montrent très bien les coupes transversales et verticales des planches III et IV.

Il est difficile de reconnaître les trois parois (interne, antérieure et postérieure) que beaucoup d'anatomistes décrivent au cœur humain. Je réduirai ce nombre à deux comme l'a fait Henle et avec lui Poirier : *une paroi interne* et *une paroi externe*. En raison du léger aplatissement de l'organe, j'admettrai que ces deux parois sont réunies par deux angles, l'un *antérieur* ou *gauche*, l'autre *postérieur* ou *droit*.

Enfin, avec tous les classiques, je décrirai une *base* et un *sommet*.

Paroi externe. — Elle est fortement concave et présente des colonnes charnues, plus ou moins nombreuses, plus ou moins puissantes qui la parcourent parallèlement de bas en haut. Ces colonnes sont comme sculptées dans la paroi et appartiennent toutes au 3e ordre.

Paroi interne. — Elle constitue la cloison interventriculaire ; nous pourrons l'appeler *paroi septale*, ainsi que nous l'avons fait pour le ventricule droit. Comme l'externe, la paroi interne est parcourue de bas en haut par des colonnes de 3e ordre d'une grande puissance. Ces colonnes peuvent être plus ou moins proéminentes dans la cavité ventriculaire (fig. 2 et 4 pl. II). En général elles s'aplatissent et se confondent avec la paroi vers la base (fig. 2, pl. II). Mais, elles peuvent se continuer jusqu'à la naissance de l'aorte, au voisinage des valvules sigmoïdes (fig. 6, pl. II). Le ventricule de Dasyure représenté fig. 5 de la même planche nous montre un cas, qui est l'exception, dans lequel les parois ventriculaires étaient lisses dans toute leur étendue.

Angles. — Les deux angles du ventricule sont très obtus et je ne les admets que pour la commodité de la description Les deux parois en effet se continuent insensiblement. Les coupes 6 et 7 de la pl. III sont assez curieuses en ce sens que la limite de ces deux parois semble bien tranchée par la disposition des fibres musculaires.

C'est dans ces deux angles que naissent les forts piliers de la valvule.

Sommet. — Le sommet est arrondi et en partie comblé par l'insertion des colonnes qui remontent le long des parois.

Base. — La base, moins large que celle du ventricule droit, est constituée par l'orifice auriculo-ventriculaire et l'orifice aortique.

L'orifice auriculo-ventriculaire est sensiblement elliptique ; à grand axe oblique d'arrière en avant, de haut en bas et de gauche

à droite. Il est moins vaste que l'orifice du cœur droit et donne insertion à une valvule membraneuse complète, la valvule mitrale.

Valvule mitrale. — Elle est constituée par deux valves membraneuses, l'une interne ou septale, l'autre externe. Entre les deux, et dans l'angle gauche, existe le plus souvent un rudiment de membrane qu'il est intéressant de rapprocher de la troisième valve signalée par beaucoup d'auteurs et que Hodgkinson [89] vient d'étudier d'une façon particulière chez les Oiseaux.

La membrane valvulaire du cœur gauche est beaucoup plus épaisse que celle du cœur droit. Cela tient au rôle puissant qu'elle doit jouer.

Les deux valves principales ont sensiblement la même forme, L'externe est plus grande que l'interne. A leur partie médiane elles ne présentent aucune corde tendineuse et la communication des piliers se fait uniquement par les angles. Cette région médiane est épaissie nettement vers son bord libre, ce qui donne l'illusion d'un nodule comme celui des sigmoïdes.

Il existe seulement en général deux forts piliers, l'un antérieur, l'autre postérieur, provenant des angles formés par les deux parois, et plus particulièrement de la paroi externe. Ces piliers peuvent descendre jusque vers le sommet du cône ventriculaire, mais alors la moitié inférieure de leur trajet se fait à l'état de colonne de troisième ordre. Ces piliers peuvent se dédoubler et dans quelques cœurs, je me suis trouvé en présence de quatre formations de ce genre, dont deux pour chaque valvule. En général le pilier droit reste simple et donne sur deux plans successifs les cordes tendineuses qui se rendent en avant à la valve antérieure, en arrière à la valve postérieure. Cette valve postérieure peut même s'insérer directement dans la partie de l'angle ventriculaire droit, au niveau du pilier correspondant ; à gauche, au contraire, il existe généralement deux piliers, un pour chaque valvule, le pilier antérieur étant le plus développé. Ce pilier antérieur gauche donne insertion 1° aux cordes tendineuses qui se rendent à la valve antérieure, 2° aux cordes qui se rendent à la valve latérale supplémentaire quand elle existe. Le pilier postérieur ne donne jamais naissance aux cordes de cette valve. Il n'est réuni qu'à la valve postérieure dont le bord gauche, comme le bord droit, s'unit très bas à l'angle ventriculaire. En sorte que la valvule gauche du cœur des Marsupiaux ne présente pas tout à fait l'aspect classique du dessin de l'atlas de Bourgery reproduit par nombre de traités. Il existe ici manifestement une tendance à la double valvule en

boutonnière qui caractérise les orifices artériels ou veineux du cœur des Vertébrés inférieurs.

Orifice aortique. — L'aorte s'ouvre dans le ventricule gauche en avant, à gauche et sur un plan plus élevé que celui de l'orifice auriculo-ventriculaire. Son orifice est nettement circulaire et béant. Ses parois sont lisses, même quand les colonnes de la cloison remontent très haut (fig. 2 et 4, pl. II).

Il existe toujours trois valvules sigmoïdes bien développés, chez *Macropus* et chez tous les Marsupiaux à cœur profondément tordu, elles sont orientées de telle sorte que l'une est postérieure et les deux autres antéro-latérales. Chez *Didelphys* au contraire la disposition est celle que j'ai décrite aux sigmoïdes de l'artère pulmonaire. D'autre part le nodule d'Arantius est toujours plus développé que le nodule de Morgagni. Les deux genres de valvules diffèrent encore par leur épaisseur qui est plus considérable à l'orifice aortique en raison de la force du courant sanguin. La fig. 11 pl. III représente une sigmoïde grossie de *Did. opossum.* On voit à son bord libre des espaces lacuneux très nets.

La disposition des artères coronaires est excessivement variable : Dans la planche II, la fig. 2 ne montre qu'un orifice, tandis que la fig. 4 en possède 4, dont 3 correspondant à une même valvule.

On remarquera que dans tout ce qui précède je n'ai pas eu à opposer telle famille à telle autre. Les petites différences en effet que j'ai constatées dans le groupe des Marsupiaux pouvaient appartenir aussi bien à une même famille qu'à une même espèce de cette famille. La division des piliers et la présence de la valve latérale ne sont pas des caractères fixes.

Monotrèmes

Le ventricule gauche des Monotrèmes diffère fort peu de celui des Marsupiaux. Nous y rencontrons les mêmes colonnes charnues et les mêmes piliers. Cependant les nuances que j'ai signalées chez les Marsupiaux sont plus accentuées chez les Monotrèmes où elles deviennent la règle. C'est ainsi que dans les 3 cœurs d'Echidné et les 2 d'Ornythorhynque que j'ai étudiés, j'ai toujours rencontré la valve latérale supplémentaire qui donne à la valvule un aspect tricuspide et non bicuspide. Lankester ([**16**] p. 557) a signalé le même fait chez *Ornithorhynchus.*

D'autre part les cordes tendineuses dont le nombre était déjà très restreint chez les Marsupiaux disparaissent chez les Monotrèmes de telle sorte que la valvule prend directement naissance sur les piliers.

Les nodules signalés par Lankester et que j'ai décrits chez les Marsupiaux sur les bords libres des valves, sont aussi bien développés chez l'Echidné et l'Ornithorhynque.

Les rapports de l'orifice auriculo-ventriculaire, avec l'orifice aortique sont sensiblement les mêmes. La description des trois valvules sigmoïdes de l'aorte se rapporte exactement à ce que j'ai décrit chez les Didelphys.

Mammifères placentaires

Chez les Placentaires, nous rencontrons un développement plus grand des cordes tendineuses. La valve latérale est rarement développée et la valvule mitrale est uniformément semblable à la valvule bicuspide du cœur humain.

Oiseaux

Les caractères généraux du ventricule gauche sont les mêmes que chez les Mammifères. L'aorte naît directement de la cavité ventriculaire et possède trois valvules sigmoïdes épaissies. Comme chez les Crocodiliens elle se dirige à droite.

La valvule auriculo-ventriculaire est membraneuse et s'insère aux piliers des deux angles par des cordes tendineuses qui forment un groupe supplémentaire presque constant, comme l'a décrit récemment Hodgkinson [89], chez un grand nombre d'Oiseaux. Cet auteur considère la valvule mitrale des Oiseaux comme régulièrement tricuspide. Les cœurs que j'ai examinés présentent tous cette disposition.

REPTILES A VENTRICULES SÉPARÉS

(Crocodiliens)

Le sommet du ventricule gauche est plus épais que celui des Oiseaux. Les parois sont spongieuses comme celles du ventricule droit, mais on y rencontre nettement des faisceaux musculaires parallèles qui rappellent les colonnes charnues de troisième ordre des Oiseaux et des Mammifères.

L'orifice de l'aorte droite est placé en avant de l'orifice auriculo-ventriculaire.

Contrairement à ce que nous avons toujours rencontré jusqu'à présent, il fait suite à un infundibulum qui rappelle celui de l'artère pulmonaire. On peut donc dire qu'il ne naît plus directement du ventricule. Chez les Reptiles à ventricules communicants, et chez

les autres Vertébrés inférieurs cette disposition n'ira qu'en s'accentuant. Si on ouvre le cœur par sa face postérieure et si on écarte la valvule auriculo-ventriculaire comme on l'a fait pour *Didelphys* de la pl. II, fig. 2 et 4, on vérifie facilement cette différence. Il faut ouvrir sur une hauteur assez grande l'aorte ainsi découverte, pour arriver aux valvules sigmoïdes. Le nombre de ces valvules est réduit à deux et nous avons vu comment la communication des deux aortes se faisait par le pertuis aortique. Du côté de l'aorte droite, la valvule au niveau de ce pertuis se trouve sur un plan inférieur à celui occupé par la valvule de l'aorte gauche, ainsi que l'a très bien démontré Sabatier ([**41**] p. 86).

L'orifice de l'aorte droite chez les Crocodiliens se trouve en contact avec les deux orifices auriculo-ventriculaires. Chez les Reptiles à ventricules communicants, au contraire, nous verrons qu'il n'a plus ces mêmes relations et s'éloigne de l'orifice gauche.

L'orifice auriculo-ventriculaire du cœur gauche est sensiblement circulaire. Il est fermé par une valvule à laquelle on peut reconnaître une valve interne et une valve externe. La valve interne est membraneuse, bien développée, à concavité inférieure. Elle se sépare de la cloison en un ou deux points, près de l'orifice de l'aorte droite.

La valve externe est beaucoup moins développée que la précédente. Elle présente aussi une forme en croissant dont le bord libre concave vient s'appliquer contre la valve interne pour former exactement le canal de communication auriculo-ventriculaire. Cette valve est en relation avec la paroi ventriculaire, à ses deux extrémités, par des colonnes musculaires bien développées qui rappellent la disposition que nous avons trouvée chez les Monotrèmes et en partie chez les Marsupiaux, car il n'y a pas de cordes tendineuses.

REPTILES A VENTRICULES COMMUNICANTS

(Sauriens — Chéloniens — Ophidiens)

J'ai déjà décrit plus haut la disposition de la valvule gauche en étudiant la tente valvulaire commune aux deux orifices auriculo-ventriculaires.

En somme la valvule gauche est absolument ce que nous avons rencontré chez les Crocodiliens. Chez ces derniers la cloison interventriculaire est venue seulement séparer les deux moitiés de la tente en donnant une valvule propre à chaque orifice, valvule qui

s'insère largement à cette cloison. Chez les Chéloniens, Sauriens et Ophidiens, les deux valvules se continuent l'une avec l'autre. Le cœur, dans ces groupes de Reptiles, passe donc insensiblement à celui de Crocodiliens.

Amphibiens

Dans cette classe le ventricule est unique et représenté par une cavité sensiblement régulière dont les parois sont constituées par de véritables vacuoles pulsatiles comme chez le Crapaud. Les rapports de cette cavité varient suivant que l'on considère les Anoures ou les Urodèles. Chez les Anoures, les cœurs de Grenouille et de Crapaud ont été suffisamment étudiés pour que je puisse les considérer comme connues. Voici d'ailleurs ce que Sabatier (p. 36) dit des valvules auriculo-ventriculaires : « Ces deux orifices (auriculo-« ventriculaires) sont placés à gauche de l'embouchure bulbaire. « Ils possèdent deux replis valvulaires communs, l'un antérieur et « l'autre postérieur. Ces valvules membraneuses ont un bord adhé-« rent au bord même des orifices, *et un bord libre dentelé, inégal,* « *duquel partent de petites cordes tendineuses qui vont s'insérer dans* « *les points des parois ventriculaires les plus rapprochés des orifices.* « Quelques cordes plus courtes naissent aussi de la face inférieure « des valvules. La cloison inter-auriculaire adhère par son bord « inférieur à la face supérieure des valvules. *Les extrémités droite* « *et gauche de ces voiles membraneux se réunissent et forment de* « *chaque côté une sorte de petite commissure membraneuse, qui prend* « *quelquefois surtout à droite les proportions d'une valvule distincte.* »

Je n'ai rien à ajouter à cette description ; je me suis contenté de souligner les points importants que j'ai minutieusement contrôlés.

La bonne fortune que j'ai eue d'étudier deux cœurs assez volumineux de la Salamandre géante du Japon va me permettre de préciser ces données chez les Urodèles. La monographie tout à fait récente d'Osawa [**103**] n'a rien ajouté, en effet, à nos connaissances du ventricule de *Cryptobranchus*. D'ailleurs, voici la traduction littérale du mémoire d'Osawa, p. 348 : « La communication du ventricule « avec les oreillettes se fait par deux grandes et deux petites valvules « à poche (*taschenklappen*). Les grandes sont attachées aux bords « ventral et dorsal de l'orifice, dont elles occupent presque toute « l'étendue. Leur face concave regarde le ventricule. Leur bord libre « est relié à la paroi ventriculaire par des tractus musculaires fins. « C'est vers la partie moyenne de cette valvule, près de son attache « à l'anneau ventriculaire, que s'insère la base de la cloison inter-« auriculaire qui est jetée comme un pont d'une valvule à l'autre. Les

« petites valvules sont inférieures aux grandes. Elles sont attachées aux bords latéraux de l'orifice. » Malheureusement ces détails ne sont pas clairs dans la planche XXXVIII à laquelle renvoie cette description.

Je suivrai le même ordre que j'ai employé pour l'étude du cœur des Reptiles, Oiseaux et Mammifères.

Nous avons vu, en étudiant les oreillettes, que la cloison interauriculaire, quoique très mince, était complète chez *Cryptobranchus*

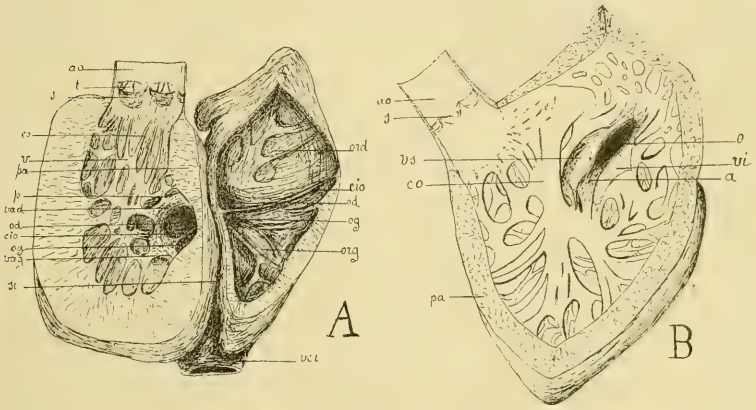


Fig. 22. — A, Cœur de *Cryptobranchus japonicus* ouvert par sa face antérieure : *v*, ventricule ; *ord*, *org*, oreillettes droite et gauche placées latéralement ; *ao*, aorte ; *s*, valvules sigmoïdes avec des cordes tendineuses *t* ; *co*, colonnes musculaires de troisième ordre du ventricule ; *pa*, paroi ventriculaire ; *si*, sillon auriculo-ventriculaire ; *vci*, veine cave inférieure ; *cio*, cloison interauriculaire ; *od*, *og*, orifice auriculo-ventriculaire droit et gauche ; *vad*, *vag*, valves externes droite et gauche de la valvule double auriculo-ventriculaire. B, Ventricule de *Lamna cornubica* ; *ao*, aorte ; *s*, valvules sigmoïdes ; *pa*, paroi ventriculaire éminemment spongieuse ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire ; *vs*, valve supérieure ; *vi*, valve inférieure de la valvule auriculo-ventriculaire ; *a*, écartement de ces deux valves.

japonicus. Cette cloison *clo* (fig. 22 A) s'avance dans la cavité ventriculaire en *clv* de façon à délimiter nettement deux orifices dont l'un *od* fait communiquer le ventricule avec l'oreillette droite et le second *og* s'ouvre dans l'oreillette gauche. Dans la figure, il suffit de prolonger *clo* jusqu'à sa rencontre avec *clv* pour dessiner les deux canaux auriculo-ventriculaires cachés par les parois des oreillettes et du ventricule. Ainsi se trouvent délimitées les deux valvules *vdl* et *vge*. On voit qu'elles correspondent exactement aux deux valvules internes de la tente valvulaire des Reptiles à ventri-

cules communicants. La seule différence qui existe entre ces Reptiles inférieurs et les Amphibiens, c'est que ces deux valvules, qui sont soudées au pourtour des orifices auriculo-ventriculaires, c'est-à-dire à la cloison interauriculaire d'une part et aux parois ventriculaires d'autre part, ont un bord libre qui, dans la figure 22, est nettement reliée à la paroi ventriculaire par de véritables piliers. Ces piliers sont bien développés surtout à la valvule droite, en p_1, p_2, p_3. Ils sont entièrement musculaires et abordent la membrane valvulaire sans interposition de cordes tendineuses. En regardant de près, on peut les suivre en partie dans le corps même des valvules. C'est en somme presque exactement ce que nous avons rencontré chez les Monotrèmes.

Les valvules internes ne sont pas visibles sur le dessin. Elles sont bien développées et ont la forme de deux lames membraneuses en croissant qui continuent les valvules externes avec lesquelles elles présentent beaucoup d'analogie. En effet, si leurs dimensions sont inférieures à celles des valvules externes, le mode d'union, par piliers vasculaires, à la paroi ventriculaire, est commun aux deux. Il va sans dire que le mot pilier que j'emploie à dessein n'a pas exactement ici la signification qu'il possède chez les Mammifères. Il veut simplement indiquer que la valvule ne s'attache pas directement à la paroi ventriculaire, mais lui emprunte des faisceaux musculaires comme trait-d'union. Ces faisceaux musculaires sont très développés comme on le voit dans la fig. 22 ; à la partie supérieure de la cavité ventriculaire ils se groupent même (*co*) pour constituer de véritables colonnes charnues parallèles de troisième ordre, au-dessous de l'orifice aortique. La paroi ventriculaire de *Cryptobranchus* peut donc être considérée tout aussi bien comme réunissant les caractères des Poissons et des Reptiles que ceux des Oiseaux et des Mammifères : aux uns elle emprunte la disposition aréolaire et spongieuse, aux autres les colonnes charnues parallèles.

Poissons

Avec les Poissons nous arrivons à l'extrême simplicité du ventricule. Des descriptions nombreuses nous ont fait connaître combien pouvait être variable sa constitution. Je n'ai représenté que deux cœurs, l'un d'Espadon (*Xiphias gladius*) (fig. 5, D), l'autre de Squale (*Lamna cornubica*) (fig. 22, B) afin de montrer, entre tant de formes, deux ventricules dissemblables. Tandis que les parois sont exagérément spongieuses chez *Lamna*, chez *Xiphias* elles sont plus fermes et beaucoup plus épaisses. D'autre part, la valvule auriculo-ventriculaire est loin de présenter la même disposition.

Chez *Lamna* (fig. 22) on voit qu'elle est constituée par deux valves membraneuses opposées qui laissent entre elles, en *a* une région du pourtour de l'orifice auriculo-ventriculaire libre de toute valvule. Chez *Xiphias* (fig. 5), les deux valves *vs* et *vi*, larges et très développées, ont leurs extrémités très écartées. Mais l'espace libre laissé entre elles est comblé par deux petites lames membraneuses *vd* et *vg* qui se trouvent sur un plan postérieur au plan principal. D'autre part la valve supérieure *vs* est réunie à la paroi par une série de fibres musculaires *m* qui augmentent sa puissance et nous rappellent la constitution de la valvule externe musculo-membraneuse de *Cryptobranchus*.

CHAPITRE IV

ARCHITECTURE DU CŒUR

Le mode de distribution des fibres musculaires dans l'épaisseur du muscle cardiaque a depuis longtemps excité la sagacité des anatomistes. Mais si Cuvier a dit quelques mots de ce groupement chez le Bœuf, bien peu d'auteurs s'en sont occupés chez les Mammifères. Ce n'est que par les recherches des physiologistes que nous pouvons nous faire une idée de ce qui existe chez l'Homme. En ce qui concerne en particulier les Marsupiaux et les Monotrèmes, je n'ai rencontré aucune publication sur le sujet dans la littérature scientifique. Je n'ai malheureusement pas pu entreprendre ces études chez les Monotrèmes, car les rares cœurs que j'ai été assez heureux d'avoir à ma disposition avaient été conservés dans l'alcool faible qui en avait détérioré les fibres et les avait rendues trop fragiles pour être disséquées.

Chez les Marsupiaux, au contraire, j'ai pu me livrer à ces recherches avec plus de facilités : Pour la dissection j'avais les cœurs des grosses espèces telles que *Didelphys cancrivora ;* pour les coupes je choisissais les cœurs de petites dimensions des adultes de faible taille comme *Did. lepida* et *Did. murina*; enfin je pouvais couper de la même façon les cœurs de très jeunes *Did. cancrivora.* J'ai pu ainsi comparer les résultats obtenus macroscopiquement à ceux fournis par le microscope. Ce sont ces résultats que je vais présenter.

Pour la dissection j'ai mis à contribution toutes les méthodes : coction, acide acétique, acide azotique, acide chlorhydrique, etc. Pour les coupes mes matériaux ont été fixés au sublimé concentré, lavés à l'alcool iodé et colorés au carmin borate. Les séries ont été faites dans les deux sens (transversalement et longitudinalement).

De cette façon, il m'a été possible de suivre presque pas à pas la marche des fibres.

Historique. — Il me paraît utile de résumer ici en quelques lignes l'état actuel de nos connaissances.

Je ne citerai que pour mémoire les travaux de Vésale, de Lower, de Leclerc et Maugetas, et de Lancisi pour arriver à Winslow [**75**] qui, en 1711, renfermait l'architecture du cœur dans cette formule :

« Le cœur est composé de deux sacs musculeux contenus dans un troisième également musculeux. »

Senac [**73**] nous a donné, en 1877, une description qui est restée longtemps classique.

Mais il faut arriver à Gerdy, c'est-à-dire en 1823, pour rencontrer la première théorie importante autour de laquelle tournent encore aujourd'hui de nombreux anatomistes. Je rappelle que la base de cette théorie est la division des fibres cardiaques, aussi bien celles des ventricules que celles des oreillettes, en *fibres communes* et en *fibres propres*.

Parmi les auteurs qui ont le plus défendu cette opinion, il faut citer : Bourgery, Luschka, Cruvelhier, Sappey, etc.

Winckler nie formellement la division de Gerdy et n'admet pas l'existence des fibres propres.

Un troisième groupe d'anatomistes, parmi lesquels il faut citer : Vesale, Stenon, Meckel, Wolf, Theile, Weber, Pettigrew et surtout Henle, ne s'attachent pas à suivre la fibre musculaire dans tout son parcours, travail qu'ils disent impossible, mais décrivent simplement les couches musculaires qu'ils rencontrent, et qu'ils distinguent d'après la direction des fibres. C'est ainsi que Pettigrew [**67**] était arrivé à trouver *neuf* couches au ventricule gauche !... Il les a réduites plus tard à *sept !*

On voit que la question est loin d'être tranchée et cependant il y a nombre d'années qu'aucun travail nouveau n'a paru sur le sujet. En étudiant la constitution intime du cœur marsupial qui est plus simple que celui de l'Homme, j'ai eu pour but sinon de combler cette lacune, du moins d'établir les relations qui existent entre les Mammifères inférieurs et l'Homme. Les résultats que j'ai obtenus ont été résumés dans une note parue au Bulletin du Muséum [**5**]; je vais essayer de les développer ici.

§ I. — SQUELETTE FIBREUX DU CŒUR

Les fibres musculaires, pour pouvoir agir, doivent prendre insertion sur des parties résistantes. A ce point de vue, le cœur des Didelphes se rapproche beaucoup de celui de l'Homme, car il comprend quatre anneaux fibreux, équivalents aux cercles tendineux de Lower, autour des quatre principaux orifices (aorte, artère pulmonaire, orifice auriculo-ventriculaire droit, orifice auriculo-ventriculaire gauche). L'anneau de l'artère pulmonaire, qui est le moins développé des quatre, est situé sur un plan plus élevé que

celui des trois autres. Nous avons vu en effet que l'origine de l'artère pulmonaire était au-dessus du plan sensiblement horizontal comprenant les deux orifices auriculo-ventriculaires et l'aorte.

Il en résulte que l'anneau pulmonaire est isolé des trois autres qui ont entre eux plusieurs points communs. D'autre part, tandis que les anneaux ventriculaires sont continus, les anneaux artériels sont constitués, comme chez l'Homme, par trois arcs fibreux correspondant aux courbes d'insertion des valvules sigmoïdes.

La structure des anneaux fibreux n'a rien de particulier chez les Marsupiaux : c'est celle d'un tissu fibreux excessivement dense au milieu duquel on aperçoit des fibres élastiques. La fig. 11 pl. IV montre le mode d'insertion des fibres musculaires sur la zone commune qui s'étend entre les anneaux des deux orifices auriculo-ventriculaires. On voit de plus les prolongements fibreux qui se dirigent dans l'épaisseur de la cloison.

Parmi ces prolongements, les plus importants sont ceux qui constituent les valvules sigmoïdes et les valvules auriculo-ventriculaires. La sigmoïde aortique, représentée fig. 11, pl. 3 à un assez fort grossissement, montre que dans les trois quarts inférieurs de la valvule les fibres se continuent directement de la paroi artérielle sur la valvule. Le tissu fibreux n'est orienté que dans une seule direction et c'est en vain que j'ai cherché les couches verticales décrites par Curtis [**50**].

§ 2. — VENTRICULES

A. *Plan superficiel.* — Si l'on considère par sa face antérieure un cœur dépouillé de son péricarde et traité par l'alcool et l'acide acétique, on voit que les fibres musculaires suivent une direction uniforme : elles se dirigent obliquement de droite à gauche (fig. 231) et de haut en bas, de telle sorte qu'elles passent *insensiblement* sans ressaut, d'une façon continue, du ventricule droit sur le ventricule gauche. L'obliquité des fibres est d'autant plus accentuée que le faisceau considéré est pris dans une région plus rapprochée de la base ; celles qui descendent du sillon auriculo-ventriculaire sont presques verticales, tandis que celles qui sont dans le voisinage de la pointe ont une direction presque transversale.

Si nous faisons subir au cœur une rotation de 180° autour de son axe de façon à le considérer par sa face postérieure, rien ne change; l'obliquité seule est plus marquée, mais le sens général est le même, c'est-à-dire de haut en bas et de droite à gauche (fig. 23,2).

Cette première catégorie de fibres contourne donc complètement le cœur. Pour nous rapprocher de ce qui existe dans le cœur humain, je les désignerai sous le nom de « *fibres unitives superficielles* ».

A cause de leur obliquité, ces fibres sur les fig. des planches III et IV sont vues, soit longitudinalement, soit coupées transversalement.

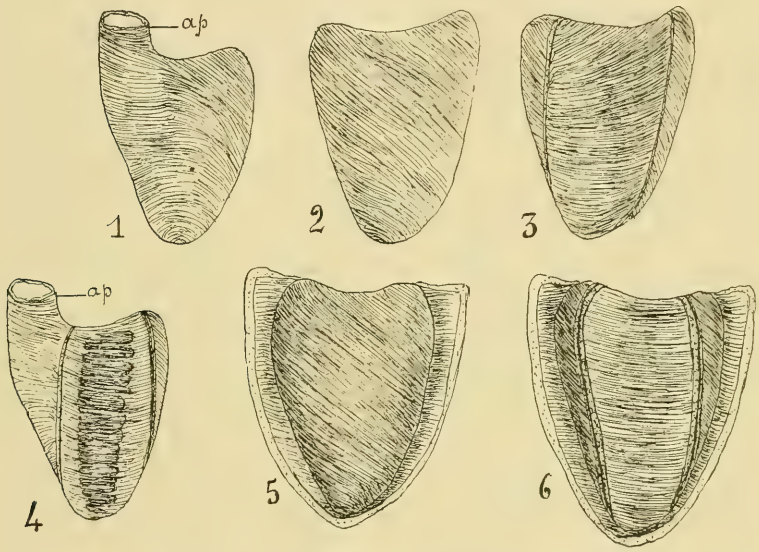


Fig. 23. — Ventricules isolés de *Didelphys cancrivora* pour montrer la direction des fibres musculaires ; 1, plan superficiel, face antérieure ; 2, le même face postérieur ; 3, plan moyen, face postérieure ; 4, le même, face antérieure ; 5, plan superficiel de la cloison (côté du ventricule droit) ; 6, plan moyen de la cloison (la paroi externe est sectionnée et écartée, comme en 5).

Comment se conduisent les *fibres unitives superficielles* à la pointe du cœur ?

La question n'est pas facile à résoudre, mais la fig. 3 pl. I, représentant la pointe du cœur vue de face, nous montre ce qui se passe. Elle permet d'abord de s'assurer de la continuité des fibres superficielles sur les deux faces du cœur. En regardant de plus près, on voit que les fibres qui descendent directement de la face antérieure, et pour préciser, de la paroi antérieure du ventricule droit, suivent cependant un chemin un peu différent de celui des fibres provenant du ventricule gauche : les premières *a* contournent la pointe de gauche à droite et vont s'insinuer *en arrière et sous* le faisceau

homologue postérieur qui a suivi la direction inverse pour venir pénétrer de gauche à droite (*b*) *avant et sous* le faisceau du ventricule droit.

En somme les fibres du ventricule droit et celles du ventricule gauche qui avaient marché parallèlement et se confondaient à la surface du cœur, arrivées à la pointe se séparent nettement : les premières, d'antérieures qu'elles étaient, contribuent à former le *faisceau postérieur de la pointe* (*a*) tandis que les secondes qui étaient postérieures deviennent le *faisceau antérieur* de la pointe (*b*). Ainsi se trouve constitué le *tourbillon de Gerdy* (*étoile de Sténon*, *rose tournante de Senac*) du cœur humain.

1) Les fibres unitives superficielles antérieures pénètrent ensuite profondément dans la pointe et remontent en sens inverse vers la profondeur du ventricule gauche où nous les retrouverons dans un moment : ce sont les *fibres en huit*. Je les ai toujours rencontrées. Comment se fait-il qu'un auteur comme Henle puisse classer cette disposition dans les « hypothèses sans fondement » ?

2) Les fibres unitives superficielles postérieures, après avoir constitué le *faisceau antérieur de la pointe*, s'enfoncent profondément dans la pointe et se dirigent vers le ventricule droit, en sens inverse de leur arrivée. Elles constituent donc aussi des *fibres en huit*. Cette particularité mérite d'être signalée, car les partisans de Gerdy ne mentionnent pas ce fait dans le cœur humain. Pour eux les fibres unitives postérieures sont des *fibres en anses*. Cette différence s'explique si, en comparant le cœur de *Did. cancrivora* à celui de l'Homme, on veut bien tenir compte de ce fait que chez l'Homme la pénétration des fibres unitives postérieures ne se fait pas en un point limité de la pointe, sous forme d'un faisceau analogue à celui des fibres antérieures comme chez les Didelphes, mais sur une surface très étendue représentant les deux tiers inférieurs du bord droit du cœur.

3) Le faisceau postérieur de la pointe, résultat du groupement des fibres unitives superficielles antérieures, après avoir décrit le *huit de chiffres* pénètre dans l'intérieur du ventricule gauche où il va se perdre dans les deux piliers de la valvule mitrale et dans les colonnes charnues de troisième ordre qui tapissent la paroi ventriculaire.

4) Le faisceau antérieur de la pointe provenant du rapprochement des fibres unitives superficielles postérieures, après avoir décrit le *huit de chiffres*, pénètre dans le ventricule droit où il va

se perdre dans la cloison en donnant une partie des fibres des piliers.

5) Les deux faisceaux de la pointe après avoir décrit le *huit de chiffres* donnent quelques fibres difficiles à suivre qui remontent le long des parois ventriculaires.

B. *Plan moyen.* — Quand on a enlevé soigneusement la couche superficielle commune des fibres du cœur, on tombe sur un second plan dont la direction diffère complètement du premier.

Sur la face antérieure, les fibres de ce deuxième plan sont presque transversales ou légèrement obliques de haut en bas et de gauche à droite, c'est-à-dire en sens inverse des fibres du plan superficiel (fig. 23).

Si au lieu de considérer le cœur par une de ses faces, nous le considérons par l'un de ses bords, le bord gauche par exemple, nous voyons que le plan moyen, qui de prime abord semblait nous montrer la même continuité que le plan superficiel, se compose de trois catégories de fibres :

1) Les unes, les moins nombreuses, traversent transversalement, c'est-à-dire horizontalement le champ du cœur. Elles se continuent en remontant des deux côtés du cœur, formant ainsi des *fibres unitives en anses.* Elles sont très difficiles à voir et surtout à suivre.

2) Un deuxième groupe de fibres, conservant la direction transversale, va se rendre aux colonnes charnues de 2e ordre qui s'étendent dans l'angle gauche du ventricule droit. Elles se perdent d'autre part dans la paroi ventriculaire gauche et dans la couche moyenne de la cloison interventriculaire.

3) Entre ces faisceaux, et confondu avec le groupe 1), un troisième groupe de fibres suit d'abord la direction commune et insensiblement pénètre entre les faisceaux précédents pour se réunir en une lame qui constitue la troisième couche, la plus profonde, de la cloison interventriculaire, dirigé très obliquement en haut et à gauche.

C. *Plan profond.* — Ce plan n'est pas aussi net que les deux précédents. Cependant quand on suit avec précaution les fibres de la face profonde du ventricule droit, on voit qu'elles forment une couche excessivement mince derrière l'endocarde, dont la direction est inverse de celle des fibres superficielles. J'ai pu les suivre jusqu'à la pointe. Là on les perd très facilement dans l'intrication des fibres en huit, car elles se relèvent pour passer dans le ventri-

cule gauche et se perdre dans les colonnes charnues de troisième ordre de la paroi.

Cloison interventriculaire

Je vais maintenant étudier séparément la cloison, car sa constitution semble différer complètement de ce qui a été décrit chez l'Homme.

Supposons le cœur reposant sur son bord gauche, c'est-à-dire dans une position telle qu'en réclinant la paroi ventriculaire externe on voit de face la cloison. Après avoir enlevé avec précaution la mince toile endocardique, qui la tapisse, on rencontre successivement les trois couches suivantes :

a) *Couche septale droite*, ou *superficielle* pour l'observateur. — Elle

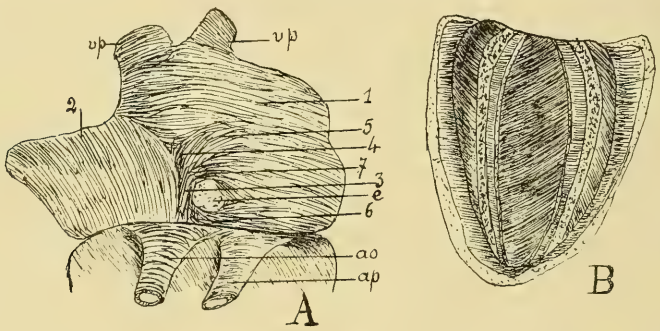


Fig. 24. — A, fibres musculaires des oreillettes de *Didelphys cancrivora* (face antérieure). L'aorte (*ao*) et l'artère pulmonaire (*ap*) sont fortement rabattues ; *vp*, veines pulmonaires ; *e*, anneau fibreux de l'oreillette droite ; 1, fibres de l'oreillette gauche ; 2, fibres perpendiculaires de l'oreillette droite ; 3, 4, 5, 6, 7, faisceaux émanés de l'anneau auriculo-ventriculaire droit. B, plan profond ou gauche des fibres de la cloison interventriculaire du cœur de *Didelphys cancrivora* (la paroi externe est écartée, les plans superficiels et moyens incisés).

est formée de fibres à direction sensiblement constante, obliques de haut en bas et de droite à gauche (5 et 6, fig. 23 et B, 24).

b) *Couche moyenne*. — Elle est moins épaisse que la précédente, et dans son ensemble paraît constituée par des fibres transversales. Mais en regardant de près, on constate que certaines des fibres, en petit nombre, sont nettement transversales, que d'autres sont obliques vers la droite et d'autres obliques vers la gauche (6, fig. 23).

c) *Couche septale gauche*, ou *profonde* pour l'observateur. — Elle est de même importance que la couche septale droite. Les fibres qui la

constituent suivent une direction opposée à celle de la couche *a*) : elles sont obliques de haut en bas et de gauche à droite.

L'obliquité des couches *a*) et *c*) est très accentuée, surtout celle de *c*) qui se rapproche sensiblement de la verticale.

D'où naissent ces fibres ? où vont-elles ? Avec une attention soutenue onarrive à le savoir.

Les fibres *a*) de la couche septale droite prennent insertion sur la demi circonférence interne de l'anneau fibreux auriculo-ventriculaire droit, comme je l'ai contrôlé sur mes coupes. De là, elles descendent très obliquement vers le bord gauche du cœur. Les plus supérieures, ou plus exactement les plus rapprochées de la base passent sur la paroi libre du ventricule gauche avant d'arriver à la pointe, décrivant ainsi une courbe hélicoïdale autour de ce ventricule gauche. Les plus inférieures, qui sont en même temps les plus obliques, descendent directement vers la pointe qu'elles contournent pour remonter se perdre dans la paroi libre du ventricule gauche. Nous les avons déjà rencontrées en étudiant la face postérieure du cœur : ce sont les fibres qui constituent en grande partie les colonnes charnues de l'angle gauche du ventricule droit et vont se mélanger au plan moyen des fibres unitives du cœur (catégorie 2).

Les fibres moyennes *b*) semblent tout d'abord des fibres *propres* au ventricule gauche. Les fig. 6, 7, 8, pl. III les représentent en effet comme sensiblement circulaires sur une coupe transversale. Il n'en est rien. Elles restent plus ou moins longtemps circulaires, mais en considérant attentivement ces figures, on voit qu'elles passent de la surface à la profondeur, c'est-à-dire du ventricule droit au ventricule gauche, et réciproquement : ces fibres, qui paraissent entourer le ventricule gauche, ne sont donc que des fibres unitives.

Malgré tous mes soins, je n'ai pas pu rencontrer de fibres propres semblables à celles que les auteurs ont décrites chez l'homme. En ce qui concerne le ventricule droit, la constatation est facile, et par la dissection, et par les coupes. Quand il s'agit du ventricule gauche, la question est plus difficile à résoudre, et si on n'y prenait garde on serait tenté de répondre par l'affirmative. Il suffit d'y regarder d'un peu près pour éviter l'erreur.

Pour résumer cette description délicate, je dirai que chez les *Didelphys* il n'existe pas de fibres propres à chaque ventricule. D'autre part la différence entre *fibres en huit* et *fibres en anses* que l'on rencontre dans le cœur humain ne se produit pas chez ces

Marsupiaux, les dernières étant *unitives* et n'ayant pas acquis assez d'importance pour les faire opposer aux *fibres en huit.*

Toutes les fibres des deux ventricules sont donc des fibres *communes* que nous pouvons désigner sous le nom de *fibres unitives* pour nous rapprocher du cœur humain. J'irai plus loin et je reconnaîtrai avec les anatomistes des *fibres unitives superficielles* et des *fibres unitives profondes.* J'insiste sur ce fait important que *les premières se continuent directement avec les secondes.*

§ 3. — OREILLETTES

L'étude de la distribution des fibres des oreillettes est plus délicate que celle des ventricules, à moins de s'attacher simplement à suivre les groupes de faisceaux, ce qui peut se faire par transparence et sans dissection. Dans ce cas on trouve les mêmes grands groupes que chez l'Homme.

Mais, là où la difficulté augmente et devient presque insurmontable, c'est quand il s'agit de suivre la fibre auriculaire dans le dédale de ses détours.

Le premier fait qui m'a frappé, c'est l'existence de *fibres propres* à chacune des oreillettes. Ces fibres naissent des deux anneaux tendineux orificiels, en avant, et après s'être dirigées verticalement et plus ou moins obliquement à droite et à gauche, contournent les orifices des grosses veines, et redescendent sur la face postérieure jusqu'à l'anneau orificiel. Ces fibres propres ne constituent pas un plan déterminé, superficiel moyen ou profond. Elles traversent obliquement la paroi ; mais, nées de la face interne ou profonde, elles restent le plus souvent dans la couche moyenne.

Il existe une couche superficielle assez bien délimitée, que j'appellerai *fibres unitives superficielles.* Les fibres qui la constituent naissent du bord externe des anneaux tendineux et se portent obliquement de droite à gauche à la face postérieure, et de gauche à droite à la face antérieure. Elles sont donc continues ; et si la plupart plongent dans l'épaisseur de la paroi pour devenir moyennes ou profondes, un grand nombre restent superficielles.

J'insiste sur ce point que les termes superficiel, moyen et profond sont pris dans un sens relatif, car je n'ai pas pu délimiter les trois plans que j'ai décrits aux ventricules. Seule la couche superficielle de fibres unitives dont je viens de parler mériterait d'être considérée comme un plan distinct.

Quand on regarde le cœur par sa face antérieure, après avoir

disséqué l'aorte et l'artère pulmonaire le plus près possible et les avoir rabattues en bas, tandis qu'on a relevé l'auricule droite (fig. 24 A), on voit que la grande majorité des fibres transversales gauches ne se continuent pas sur l'auricule droite (formée par la réunion des deux auricules antérieures, l'inférieure et la préaortique). L'auricule possède en effet des fibres particulières qui naissent de l'anneau fibreux auriculo-ventriculaire droit, au niveau du sillon auriculo-ventriculaire, et se dirigent perpendiculairement aux fibres unitives superficielles précédemment décrites. Ces fibres, qui sont par conséquent longitudinales (verticales) et légèrement obliques vers la droite, arrivées à l'angle tranchant de l'auricule se réfléchissent suivant un angle très aigu pour passer à la surface externe (antérieure) de cette auricule. Elles s'étalent sur cette face en une lame mince et se dirigent en haut et en arrière pour aller se confondre avec les fibres unitives superficielles postérieures.

La même disposition se retrouve à gauche. Les deux auricules ne participent donc pas à la répartition des fibres transversales superficielles des oreillettes ; elles possèdent des fibres superficielles propres à chacune d'elles.

La fig. 24 montre encore un faisceau (3) qui a pris naissance sur la demi-circonférence antérieure de l'anneau fibreux auriculo-ventriculaire droit. Ce faisceau remonte verticalement au devant des oreillettes, et entre ces deux oreillettes. Des fibres qui la constituent, les unes obliquent à droite (4), les autres à gauche (5) et vont grossir la couche des fibres unitives superficielles. A la base de ce faisceau dont il a la même origine, un troisième groupe de fibres se dévie à gauche : les unes transversalement (6), les autres d'abord verticalement délimitent ainsi un espace fibreux *e* qui correspond à la partie médiane de la paroi antérieure de l'oreillette gauche.

Aux environs des ouvertures des gros vaisseaux, les fibres transversales unitives deviennent annulaires, et constituent une couche qui passe insensiblement à la couche musculaire du vaisseau. Ces fibres diffèrent entre l'oreillette droite et l'oreille gauche. A droite on peut les suivre et surprendre le passage direct des unitives superficielles aux annulaires. A gauche, où l'on rencontre les deux veines pulmonaires rapprochées sur un même plan, la disposition se complique légèrement ; nous trouvons bien des fibres annulaires propres à chaque vaisseau, mais à ces fibres propres viennent s'ajouter des fibres communes : ce sont des *fibres en huit* qui passent d'une veine à l'autre. Il existe enfin une troisième catégorie

de fibres à la base des vaisseaux pulmonaires. On peut les appeler fibres *annulaires communes*. Elles se confondent en effet avec les fibres unitives superficielles et enveloppent les deux vaisseaux dans un même cercle.

Même quand les deux veines pulmonaires sont séparées par une distance assez grande, j'ai trouvé ces deux groupes de fibres communes, annulaires et en huit. Je m'explique donc difficilement pourquoi je ne les ai pas rencontrées aux trois veines caves. Il y a bien dans cette région de l'oreillette gauche des fibres qui ressemblent aux fibres en huit du côté droit, mais comme je n'ai pu les suivre, je ne puis les décrire.

A la paroi profonde des oreillettes, les fibres unitives superficielles se groupent en faisceaux qui parcourent transversalement la paroi externe et donnent naissance aux colonnes charnues des auricules. Leur disposition en éventail laisse supposer que les auricules qui en dérivent ne sont pas des organes passifs, mais de véritables appareils de contraction destinés à venir en aide à la *vis a tergo*.

CHAPITRE V

§ I. — INNERVATION

L'étude macroscopique des nerfs du cœur semble présenter un intérêt médiocre à côté des admirables résultats fournis par les recherches microscopiques. Certes la morphologie des cellules ganglionnaires ou la recherche des ganglions dans l'intimité du tissu ventriculaire sont deux questions plus intéressantes pour les histologistes. Après les remarquables travaux du professeur Ranvier, les découvertes récentes de Dogiel ont jeté un jour nouveau sur la question et permettent, grâce aux révélateurs précieux dont dispose la science, d'espérer qu'on ne tardera pas à surprendre la fibre cardiaque dans sa vie même.

A côté de ces travaux remarquables, il reste place pour des recherches plus modestes. Celles, malheureusement très incomplètes, que je vais résumer, sont de ce nombre. Elles peuvent avoir un certain intérêt car je n'ai rencontré nulle part dans la littérature scientifique, de descriptions concernant l'innervation du cœur des Marsupiaux et des Monotrèmes. Les spécimens, conservés dans l'alcool, des Marsupiaux australiens et des Monotrèmes que j'ai eus à ma disposition, ne m'ont pas permis d'étendre mes recherches de ce côté, et j'ai dû me limiter à l'étude des nerfs et ganglions du genre *Didelphys*.

Les dessins sont si difficiles à obtenir, à cause du nombre des anastomoses et de leurs trajets, que j'ai renoncé à en faire. La fig. 4, pl. I se réduit à un simple schéma.

La disposition générale des nerfs du cœur des *Didelphys* est la même que celle de l'Homme : des branches provenant du pneumogastrique et du sympathique forment par leur réunion le plexus cardiaque duquel partent les filets efférents destinés aux différentes zones de l'organe.

Le trajet des nerfs cardiaques étant très variable, je décrirai un type moyen chez l'espèce la plus grande, *Didelphys cancrivora*.

A. *Pneumogastrique.* — Le pneumogastrique donne des branches depuis sa région cervicale et à des hauteurs variables. Il est difficile de faire une distinction entre branches cervicales et

branches thoraciques. En général il existe trois filets partant du bord interne du pneumogastrique, que j'appellerai *nerfs cardiaques supérieur, moyen et inférieur*. Ils naissent tous trois au dessous du récurrent. Le supérieur et l'inférieur sont les plus développés ; mais il est assez curieux de remarquer que l'un des deux est toujours plus développé aux dépens de l'autre, de telle sorte qu'il semble exister seul des trois.

Il serait impossible de décrire les anastomoses nombreuses et délicates qui unissent ces trois branches ; elles n'ont rien de fixe.

B. *Grand sympathique.* — Les branches qui naissent du grand sympathique sont aussi variées que celles du pneumogastrique. Mais il en est trois que j'ai toujours rencontrées, plus ou moins développées. Elles proviennent de chacun des ganglions cervicaux, supérieur, moyen et inférieur. Pour ne pas les confondre avec les trois rameaux du pneumogastrique, je propose de les appeler *nerfs cardiaques sympathiques supérieur, moyen et inférieur.*

Les termes de *grand* et *petit nerf cardiaque* consacrés par l'usage en anatomie humaine ne seraient suffisants que s'il n'existait que deux rameaux. Pour comprendre toute la confusion qui peut naître de ces expressions variées, il suffit de se rappeler que le *nerf cardiaque moyen* porte en même temps les noms de *grand nerf cardiaque* et de *nerf cardiaque profond de Scarpa.*

Il y a toujours un équilibre dans le volume de ces trois rameaux comme pour ceux du pneumogastrique, de telle sorte que l'un d'eux paraît seul exister en comparaison des deux autres qui restent grêles.

Les trois nerfs cardiaques sympathiques sont réunis entre eux par des anastomoses nombreuses, et se mettent de même en communication avec les branches du pneumogastrique par plusieurs rameaux variables en volume et en situation.

C. *Plexus cardiaque.* — Il est constitué par le rapprochement des six nerfs cardiaques que je viens d'étudier. Il est difficile de reconnaître les trois plans décrits chez l'Homme par Hirschfeld, Cruveilhier et Sappey (*plans antérieur, moyen et postérieur*). La concentration est telle que les filets efférents naissent côte à côte dans ces cœurs de petites dimensions.

Le plexus cardiaque se trouve en arrière de l'aorte, à droite et en arrière de l'artère pulmonaire. Il envoie des rameaux en avant à la face antérieure du ventricule et des oreillettes et le long des vaisseaux coronaires, en arrière sur la face postérieure du cœur

et sur les gros vaisseaux de la base. Il est impossible de les suivre un à un et de les décrire chacun en particulier.

D. *Ganglions du cœur.* — Il n'est pas facile de les délimiter. C'est à force de les chercher dans les régions qu'ils occupent chez la Grenouille, où ils ont été surtout bien étudiés par les physiologistes, que j'ai pu les découvrir. Placés sur le trajet des filets cardiaques, ils échappent facilement aux recherches.

Les trois ganglions de Bidder, de Ludwig et de Remack occupent la même situation que chez la Grenouille ; le premier (Bidder) est à la face antérieure du cœur, à la rencontre du ventricule et de l'oreillette, un peu à gauche de l'infundibulum de l'artère pulmonaire ; le deuxième (Ludwig) est étalé et non aggloméré comme les autres, et se trouve à la base de la cloison interauriculaire ; le troisième (Remack), est à la face postérieure, au-dessus de la veine cave inférieure et au niveau de son entrée dans l'oreillette.

§ II. — IRRIGATION

A. *Artères.* — Le muscle cardiaque, chez les *Didelphys* reçoit son sang par les *artères coronaires* que quelques auteurs nomment encore *artères cardiaques.* Ces artères naissent du tronc de l'aorte, immédiatement après son émergence du ventricule, et un peu au dessus du bord libre des valvules sigmoïdes. Dans les cas normaux, elles sont au nombre de deux, une droite et une gauche.

Mais souvent ce nombre se simplifie ou se complique. C'est ainsi que j'ai rencontré une seule coronaire (fig. 2 pl. II) qui se subdivisait immédiatement après sa naissance (cas ordinaire) ou longtemps après. La fig. 4 pl. II montre un cœur qui possédait 4 *coronaires* ; trois naissaient au niveau de la même sigmoïde. C'est une anomalie que je n'ai observée qu'une seule fois.

La *coronaire droite* ou *postérieure* naît sur le côté droit de l'aorte et se place dans le sillon auriculo-ventriculaire postérieur. Elle donne deux branches principales : une gauche qui s'anastomose avec une branche de la coronaire gauche et une droite qui descend verticalement vers la pointe où elle s'anastomose avec la branche terminale de la coronaire gauche.

La *coronaire gauche* ou *antérieure* prend naissance au côté gauche de l'aorte. Elle se divise en deux branches en suivant à droite le sillon auriculo-ventriculaire : une *droite* qui s'anastomose avec la branche gauche de la coronaire droite, et une *gauche* qui des-

cend vers la pointe où elle vient s'anastomoser avec la branche terminale de la coronaire droite.

Chemin faisant les deux coronaires envoient des rameaux secondaires en haut aux oreillettes et auricules, en bas aux ventricules.

En somme la disposition est la même que chez l'Homme et chez les Mammifères et Oiseaux. Le *cercle horizontal* ou *cercle auriculo-ventriculaire* est complet ; mais le *cercle vertical* ou *interventriculaire* est moins net. Il ne suffit pas à indiquer le sillon interventriculaire des Mammifères supérieurs.

B. *Veines.* — La grande veine coronaire du cœur humain n'existe pas chez les Marsupiaux. Elle est représentée par deux ou un plus grand nombre de veines coronaires secondaires plus ou moins développées et dont la distribution est très variable.

La fig. 3, B, montre un cas que l'on croirait schématique : le sang veineux du côté droit se déverse dans la veine cave supérieure droite, la veine coronaire gauche se déverse dans la veine supérieure gauche, à un niveau beaucoup moins élevé que la droite. Dans la fig. 1, pl. II, on voit une veine coronaire qui semble se déverser dans la veine cave supérieure droite. Il n'en est rien ; elle s'ouvre directement dans l'oreillette. Deux faits sont à retenir chez les Marsupiaux qu'on n'a pas suffisamment mis en relief jusqu'ici :

1° Les veines des ventricules sont différentes de celles des oreillettes ; 2° Tandis que les veines auriculaires courent à la surface des oreillettes et s'ouvrent directement dans l'oreillette droite, les veines ventriculaires se réunissent en un tronc — quelquefois deux comme fig. 3, B — qui se détache de la paroi cardiaque et va se jeter soit dans l'une des veines caves supérieures, soit directement dans l'oreillette, après avoir franchi en pont, c'est-à-dire sans aucune adhérence conjonctive, le sillon auriculo-ventriculaire. J'ai constaté le même fait chez *Ornithorhynchus* et *Echidna*.

Dans le reste de leur parcours, les veines coronaires suivent le trajet des artères.

C. Lymphatiques. — Je n'ai pas pu étudier ce système qui doit sans doute ressembler beaucoup à celui des Mammifères supérieurs, puisque les veines et artères sont construites sur le même type.

§ III. — TEMPÉRATURE

Quoique l'étude de la température ne soit pas du domaine anatomique, je terminerai ces descriptions en donnant les nombres que j'ai obtenus chez les *Didelphys*. Ces recherches, n'ayant pas été

faites dans un but déterminé, n'ont pas été renouvelées chez tous les animaux que j'ai eus à ma disposition ; elles ne concernent que *Did. cancrivora* et *D. lanigera.*

Selenka dit avoir trouvé chez *Didelphys virginiana* une température d'environ 37°. D'une série d'observations que j'ai faites sur *Didelphys cancrivora* et *Did. lanigera* j'arrive à une moyenne de 34°2.

Chez un *Did. lanigera*, à Paris, par une température ambiante à peu près constante de 13° C, j'ai enregistré comme moyenne 33° 9, température rectale lue après cinq minutes d'observation chaque fois. L'animal était très bien portant, agile, mangeant bien.

Ces températures sont intéressantes à comparer avec les moyennes obtenues dans les familles voisines. Micklouho-Maclay [**21**] donne le chiffre de 24° 8 pour *Ornithorhynchus* et 28° pour *Echidna*.

Sutherland [**46**], en 1897, a fait de nombreuses observations sur les Marsupiaux australiens et les Monotrèmes, parmi lesquelles je relève chez *Phascolomys platyrhinus* 34°, chez *Wombat* 34° 1, chez *Petaurus* et *Koala* 35° 7, chez *Dasyurus*, *Phascolarctos* et *Phallangista* 36°, chez *Macropus giganteus* 36° 6, chez *Hamalturus benettii* et *Dendrolagus grayi* 37°.

Les *Didelphys* se tiennent donc parmi les Marsupiaux qui possèdent les températures les plus faibles, et ce caractère, comme tous ceux que j'ai déduits de l'étude du cœur, les place à la base de ces Marsupiaux.

CHAPITRE VI

OPINIONS DES AUTEURS SUR LA PLACE OCCUPÉE PAR LE CŒUR DES MAMMIFÈRES DANS LA SÉRIE DES VERTÉBRÉS

Les travaux qui ont été écrits sur les relations des différentes classes de Vertébrés entre elles sont innombrables. Il n'entre pas dans le programme que je me suis tracé de les passer en revue ici. Je ne m'occuperai que de ceux basés sur la connaissance du cœur. Le lecteur qui voudra généraliser la question et suivre les discussions intéressantes publiées sur l'origine des Mammifères trouvera à la fin de l'Index bibliographique la liste des communications les plus importantes que j'ai consultées moi-même à ce sujet.

Dès les premières lignes de ce mémoire (voir l'Introduction), j'ai essayé de montrer combien la connaissance du cœur pouvait devenir précieuse quand il s'agit de reconnaître la place qui revient à chacun des groupes des Vertébrés. Mais les résultats fournis par l'examen d'un seul organe ne sauraient donner la clef du mystère. Leur concordance seule, obtenue après une minutieuse observation des différents appareils, pourra offrir une garantie suffisante que l'embryogénie complètera.

Les idées qui ont caractérisé le XIXe siècle et que partagent le plus grand nombre des naturalistes actuels, sont celles que Geoffroy Saint-Hilaire résumait en 1828 : « Les animaux perdus sont par voie non interrompue de générations et de modifications successives, les ancêtres du monde actuel. » ([**171**] p. 208). Il faudra donc tenir compte dans l'étude des organes mous des animaux vivants, des anneaux qui manquent à la chaîne, et toute notre sagacité devra tendre à saisir le passage d'un groupe à l'autre.

De Blainville, dans la thèse qu'il eut à soutenir en 1812, pour obtenir la chaire de Zoologie de la Faculté des sciences de Paris, écrivait : « Quant au cœur (des Oiseaux) il ressemble en tout à celui « de l'Echidné et de l'Ornithorhynque et même il offre un rapport de « plus avec ce dernier en ce que la valvule auriculo-ventriculaire « droite est à peu près charnue... » ([**116**] p. 85).

C'était l'opinion énoncée par Cuvier.

Meckel, en 1826, dans sa monographie de l'Ornithorhynque, est du même avis : « Similitudo quedam cum avium valvula venosa « dextra et propter carnositatem et propter figuram minime prœ- « tervidenda adest » ([**20**], p, 31).

Owen, dans le « *Todd's cyclopedia* », conclut de même : « The « structure of the valve thus offers an interesting transitional state « between that of the Mammal and that of the bird » ([**23**], vol. III, p. 390).

En 1866, Gegenbaur combat l'avis de ses prédécesseurs et pense qu'il existe des rapports plus étroits entre la valvule d'Ornithorhynque et celle de Crocodile : « Quand on veut comparer le cœur « d'Ornithorhynque à celui d'Oiseau, dit-il, on rencontre une grande « difficulté dans l'existence d'une valve septale chez Ornithorhynque « qui n'existe pas chez Oiseau » ([**30**], p. 382).

Lankester, dans son important mémoire de 1883 [**17**], combat cette opinion de Gegenbaur et se met du côté de Cuvier, Owen, etc. « I cannot consider that Gegenbaur is correct in indicating a cor- « respondence between the structure of the right cardiac valve in « *Ornithorhynchus* and *Crocodilus* closer than that which obtains « between the Monotrèmes and other Sauropsida with fleshy right « cardiac valve. On the other hand, in the bird's cardiac valve, pl. III, « fig. 5 & 6, we find no septal lobe (either membranous or muscular) « to vitiate the comparison with that of *Ornithorhynchus*; and I must « maintain that prof. Owen was more correct in pointing out « ressemblances between the right cardiac valve of *Ornithorhyn-* « *chus* that of birds than Gegenbaur has been in assimilating the « former to the corresponding structure in Crocodiles. The agree- « ment, such as it is, by no means tends necessarily to indicate « any speciate morphological relationship between *Ornithorhynchus* « and birds, which have been conclusively shown by Huxley and by « Gegenbaur to have no nearer genealogical meeting-point than in « the forefathers of the common ancestor of Sauropsida » (p. 10).

Et il conclut page 14 : « There seem to be no facts which would « lead one to trace the Monotrème heart to an ancestor in which « the secondary muscular valve was fully developped both in its « anterior and its septal portions. From such an ancestor it would, « no doubt, be possible to derive the Monotrèmes, on the one hand, « by suppression of the septal portion, aud the other Mammalia, « on the other hand, by retention of the whole valve with degene- « ration of its muscular substance. But in view of the fact that the « secondary muscular valve is not found to develop a septal portion

« in any other Vertebrates than the higher Mammalia, it is more « probable that the ancestor of the Monotrèmes had no such septal « develop ; that the rudiment of such septal development found « in rare cases in Monotrème hearts is an incipient rudiment, and « that the full development of the septal half of the secondary « right cardiac valve (in Bernay's sense) is anew departure and « special characteristic of the non cloacal Mammalia ».

Carl Röse, en 1890 [**40**], résume son opinion par cette phrase qui termine son mémoire : « Donc la démonstration de la loi biogénétique est un précis abrégé du développement phylogénétique. »

Nous sommes loin des idées que H. Milne-Edwards professait en 1858 et qu'il est curieux d'opposer aux précédentes : « L'hypothèse « de la formation d'une série zoologique s'étendant depuis la « Monade jusqu'à l'Homme et résultant d'une série d'arrêts de « développement dans la réalisation du plan organique d'après « lequel le corps humain se constitue, est donc tout aussi fausse « quand on l'applique à cette portion de l'économie (appareil « circulatoire) que lorsqu'on la présente comme l'expression des « ressemblances et des différences qui existent dans l'ensemble de « l'organisme chez tous les êtres animés. Non, l'embryologie des « animaux supérieurs n'est pas comme vous l'entendez souvent « répéter dans une autre école, le tableau mobile de l'anatomie « comparée... » (Tome III, p. 303). Cela ne l'empêche pas de reconnaître un peu plus loin, p. 475, que « la similitude primordiale « de l'appareil circulatoire se conserve plus longtemps entre les « Mammifères et les Oiseaux, qu'entre ceux-ci et les Reptiles. La « ressemblance définitive est aussi plus grande ».

Sabatier [**41**] n'a pas étudié le cœur des Monotrèmes et des Marsupiaux. Il consacre cependant plusieurs chapitres à discuter la transformation successive de cet organe dans la série des Vertébrés. Il reconnaît de nombreuses relations entre les Mammifères et les Crocodiliens. Mais tous ses efforts semblent tendre à démontrer le passage possible des Oiseaux aux Mammifères. Son raisonnement serré oblige l'esprit à accomplir un véritable tour de force, car tout en voulant se baser sur les faits anatomiques, il se lance fatalement dans le domaine des hypothèses.

C'est qu'il est difficile, dans ces discussions, de ne pas se laisser tenter, ainsi que l'écrit spirituellement Kingsley : « Speculation as « to the origin of the various existing groups of animals and plants « are always dangerous and yet they have for many a certain fasci- « nation..... Here is as chance for the play of imagination and a

« chance for close guesing at the values of some of the unknown « elements » ([**146**], p. 193).

Pour éviter cet écueil, je me bornerai à faire ressortir, dans les conclusions qui vont suivre, les caractères anatomiques les plus importants décrits dans le cours du présent mémoire.

CONCLUSIONS

Le cœur des Mammifères, comme les ouvrages d'Anatomie comparée le mentionnent, présente une série de caractères communs qui permettent de ne pas le confondre avec celui d'aucun autre Vertébré. Cependant, il suffit de l'étudier attentivement, ainsi que nous l'avons fait, pour reconnaître immédiatement qu'à côté de ces ressemblances il existe des différences importantes et caractéristiques. De telle sorte que, si, après avoir réuni et brouillé tous les cœurs de Mammifères, on essayait de les classer en réunissant ensemble ceux qui présentent le plus de caractères communs, on obtiendrait trois groupes correspondant aux *Monotrèmes*, aux *Marsupiaux* et aux *Placentaires*.

Entre ces trois groupes, les caractères intermédiaires font défaut comme ils font défaut entre les cinq classes de Vertébrés elles-mêmes.

Ont-ils existé ? Nous ne pouvons que le supposer puisque les preuves matérielles manquent. Mais nous pouvons le faire très vraisemblablement en tenant compte de nos connaissances embryogéniques et paléontologiques.

Beaucoup de naturalistes admettent deux groupes de transition, l'un entre les Monotrèmes et les Marsupiaux, l'autre entre les Marsupiaux et les Placentaires. A mon avis c'est vouloir trop demander au transformisme et à la succession naturelle.

Si nous nous reportons en effet aux descriptions des pages précédentes, nous sommes obligés d'admettre que les Monotrèmes, les Marsupiaux et les Placentaires, forment trois sous-classes distinctes dans la classe des Mammifères (1).

(1) Pourquoi, au lieu de chercher des expressions nouvelles qui ne peuvent qu'augmenter la confusion, ne pas maintenir purement et simplement l'ancienne classification en *Ornithodelphes*, *Didelphes* et *Monodelphes*, qui n'est pas parfaite évidemment, mais indique clairement les trois divisions d'une même classe ?

Ces trois sous-classes proviennent-elles d'ancêtres communs, de « *Promammifères* », rappelant à la fois le cœur des Amphibiens par les piliers de la valvule droite de *Cryptobranchus* et celui des Crocodiliens par le caractère musculaire de la valve externe de cette valvule ?

Bien des considérations semblent favorables à cette hypothèse que je me borne à énoncer sans y insister.

Je ne veux pas davantage examiner si les diverses classes de Vertébrés ont évolué par séries parallèles plutôt que par voie de transitions directes et successives. L'anatomie comparée du cœur me semble plaider en faveur du parallélisme et ses enseignements sont d'accord avec ceux de la Paléontologie.

Mais si séduisantes que soient de telles spéculations, elles ne peuvent trouver place dans un travail du genre de celui ci, travail essentiellement anatomique et qui doit se limiter à l'exposé des faits.

Ceux que j'ai observés et qui proviennent d'animaux souvent rares et généralement peu ou point étudiés, sont assez nombreux pour que je me trouve dans l'obligation de les sérier suivant l'ordre zoologique, d'abord ceux qui concernent les Marsupiaux et les Monotrèmes, puis les déductions applicables aux Placentaires et aux Ovipares.

Comme d'autre part, il est matériellement impossible de condenser un travail d'anatomie de quelque étendue sous forme d'un résumé qui serait à la fois court et complet, je me vois dans la nécessité de laisser de côté nombre de faits secondaires pour ne retenir que les plus saillants.

Marsupiaux

Le cœur marsupial, d'après les projections que j'ai obtenues sur le plastron sternal, est relativement plus volumineux que celui des Mammifères placentaires, et en particulier de l'Homme. La considération des dimensions respectives confirme cette observation.

Son poids, qui est inférieur à celui des Oiseaux, est intermédiaire entre ceux-ci d'une part, et les Reptiles et Placentaires d'autre part.

Sa forme est des plus variables, comme chez les Oiseaux et les Placentaires. Fait intéressant, chez de nombreux *Didelphys cancrivora* ♂ j'ai observé à la pointe un sillon profond qui rappelle la bifidité du cœur du *Dugong*.

Sa base ne correspond pas à la base du cœur humain.

En plus des deux auricules pré et postaortiques de l'oreillette droite signalées par Owen, il existe une troisième auricule que j'ai appelée « auricule coronaire ». Cette formation est surtout bien développée dans les genres américains qu'elle peut aider dans une certaine mesure à différencier des familles australiennes.

La valvule d'Eustache existe très souvent, contrairement à l'opinion de Meckel reproduite dans la plupart des traités d'anatomie comparée.

Comme tous mes prédécesseurs, j'ai constaté la présence constante des trois veines caves, et l'absence absolue de fosse ovale ou de toute autre formation analogue.

Le ventricule droit descend plus bas que le gauche et peut contourner ce dernier, à la pointe, comme le montrent les coupes longitudinales. Chez les Monotrèmes et les Reptiles ce caractère est moins accentué ; les Placentaires et les Oiseaux s'en écartent complètement.

La torsion de l'axe du cœur, qui a été signalée comme croissant régulièrement des Poissons aux Mammifères, est variable chez les Marsupiaux : plus faible chez les espèces américaines, elle augmente d'une façon continue de *Didelphys* à *Macropus ; Did. virginiana*, du Nord-Amérique a son axe plus tordu que les espèces de l'Amérique du Sud.

Les « colonnes modératrices » du ventricule droit sont constantes chez tous les Marsupiaux et prennent un grand développement : chez les *Didelphys*, une de ces colonnes présente une forme rayonnante presque caractéristique.

A la base de l'artère pulmonaire existe une dépression circulaire qui semble témoigner d'une communication primitive de l'aorte droite avec le ventricule droit (*valvule primitive de l'aorte gauche*).

Les valvules auriculo-ventriculaires sont membraneuses chez tous les Marsupiaux. Il n'existe pas de fibres musculaires ni de vaisseaux dans leur constitution.

La valve septale de la valvule droite est beaucoup moins développée que la valve externe. La différence est surtout sensible dans le genre *Didelphys*. Dans les cas de réduction extrême, cette valve septale semble s'attacher directement à la cloison, tant sont grêles et courts les filets tendineux qui unissent les deux parties.

Les piliers varient en nombre et en position. On peut toujours les ramener à quatre dans le ventricule droit. Celui qui est placé à l'extrême gauche de la cavité, c'est-à-dire le plus rapproché de

l'artère pulmonaire, se confond avec la formation que j'ai appelée « muscle de l'infundibulum ».

En aucun cas ces piliers ne s'insèrent à la paroi ventriculaire libre. Le deuxième pilier à partir de la gauche (p_2) envoie simplement quelquefois un prolongement à cette paroi libre.

Les piliers sont formés par la réunion de faisceaux musculaires parallèles provenant des fibres de la paroi, comme je l'ai observé en étudiant l'architecture du cœur; à leur sommet prend naissance un tendon fibreux principal duquel partent les cordes tendineuses qui unissent le pilier à la valvule membraneuse. Il existe souvent des tendons secondaires.

La constitution histologique de la fibre cardiaque rappelle celle des Mammifères placentaires. Ces fibres sont longues et ramifiées et ne présentent pas de divisions en cellules propres.

Je n'ai pas trouvé de fibres de Purkinge.

La marche des faisceaux musculaires telle que je l'ai décrite au chapitre IV est difficile à résumer.

Je n'ai pas rencontré de fibres propres dans chacun des ventricules comme on les décrit dans le cœur humain.

Les fibres superficielles se continuent directement, en passant par la pointe, avec les fibres profondes.

L'innervation du cœur se fait par les nerfs cardiaques provenant du grand sympathique et du pneumogastrique. Il existe une grande similitude avec les Placentaires.

Les ganglions nerveux occupent les mêmes situations que chez la Grenouille.

Les veines coronaires forment un « cercle horizontal » net, mais pas de « cercle vertical. » Celles qui proviennent des ventricules passent en pont au dessus du sillon auriculo-ventriculaire avant de se jeter dans l'oreillette droite ou dans les veines caves supérieures.

Les artères coronaires suivent les veines.

La température des *Didelphys* — moyenne variant entre 33°9 et 34°2 (centigrades) — est inférieure à celle des autres Marsupiaux.

Monotrèmes

Il existe des valvules à chacune des trois veines caves.

Une bande fibro-musculaire transversale indique la limite du sinus veineux des Vertébrés inférieurs.

Contrairement à l'opinion de Lankester et de Carl Röse, il existe à la paroi interauriculaire une formation qui, par son aspect et

ses rapports, doit être homologuée à la fosse ovale des Mammifères placentaires.

Les auricules de l'oreillette droite sont moins distinctes que chez les Marsupiaux.

La torsion de l'axe du cœur est intermédiaire entre *Didelphys* et *Macropus*.

Les colonnes modératrices du ventricule droit sont constantes et très nombreuses.

Il existe comme chez les Marsupiaux une dépression à la base de l'artère pulmonaire qui semble témoigner de la communication primitive de l'aorte droite avec le ventricule droit.

La valvule droite est réunie directement aux piliers musculaires sans l'intermédiaire de cordes tendineuses. Chez *Ornithorhynchus*, les colonnes charnues la traversent dans toute sa hauteur au détriment de la partie membraneuse qui devient ainsi considérablement réduite, mais ne disparaît *jamais* complètement.

La valvule d'*Echidna* n'est pas traversée par les colonnes charnues.

Contrairement à l'opinion de Lankester sur l'absence de la valve septale des Monotrèmes, je crois pouvoir avancer que cette valve septale existe. Elle est généralement peu développée, au point de passer inaperçue dans certains cas. Cette conclusion est des plus importantes, car elle éloigne le cœur des Monotrèmes du cœur des Oiseaux, alors qu'on serait tenté de rapprocher les deux groupes (comparaison de la valve externe de la valvule droite d'Oiseau comme je l'ai décrite, avec celle d'*Ornithorhynchus*).

Mammifères placentaires

Le trou ovale considéré avec ses rapports classiques ne répond pas à certaines de mes dissections : chez Cabiai (*Hydrochœrus capibara*) il existe une communication entre les deux oreillettes, qui est indépendante de la limite formée par l'anneau de Vieussens. C'est la confirmation anatomique des perforations inter-auriculaires décrites par les Embryologistes.

Oiseaux

L'examen attentif de l'oreillette droite d'*Apterix australis* montre les rapports étroits qui existent entre les muscles pectinés de cette région et ceux des Poissons.

La valvule auriculo-ventriculaire droite doit être considérée, chez les Oiseaux, comme formée par une valve unique et un pilier. Il y a là un rapport des plus importants avec le cœur mammifère. Si l'opinion de Lankester sur l'absence de la valve septale des

Monotrèmes était vraie, les relations entre les deux classes supérieures des Vertébrés deviendraient des plus étroites. L'existence de cette valve septale que je crois constante, ainsi que je me suis efforcé de le démontrer, écarte au contraire les Mammifères des Oiseaux.

Reptiles

La valvule auriculo-ventriculaire droite doit être considérée comme incomplète.

Chez les Chéloniens (*Testudo tabulata*) cette valvule présente dans la distribution de ses parties musculaires et de ses parties membraneuses des relations qui permettent jusqu'à un certain point de la comparer avec la même formation des Mammifères inférieurs.

Amphibiens

L'étude approfondie du cœur de la Salamandre du Japon (*Cryptobranchus japonicus*) permet de reconnaître des relations étroites avec les Mammifères : les auricules rappellent celles des Marsupiaux; la valvule auriculo-ventriculaire est réunie à la paroi par des piliers musculaires, sans colonnes tendineuses comme chez *Echidna*.

Poissons

Les muscles pectinés semblent résulter d'un véritable plissement de la paroi.

***

Ce résumé incomplet permet de juger de l'étendue de mes recherches. Je leur ai consacré plusieurs années, je les ai poursuivies constamment avec la même méthode et sous un climat qui ne se prête guère aux dissections. J'espère qu'elles offriront un égal intérêt pour l'anatomie comparée et pour la phylogénèse.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Ouvrages d'Anatomie comparée.

Buffon et Daubenton. — Carus. — Claus. — Cuvier. — Gegenbaur. — Hercule Straus-Durckeim. — Huxley. — Meckel. — H. Milne-Edwards. — Owen. — E. Perrier. — Roule. — Siebold et Stannius. — Van der Hœven. — Watherhouse. — Widersheim. — Young et Carl Vogt., etc.

Ouvrages d'embryologie comparée.

Balfour. — Hertwig. — Kölliker. — Debierre. — Mathias Duval. — Roule, etc.

Ouvrages d'Anatomie humaine.

Bourgery et Jacob (Atlas). — Cruveilhier. — Debierre. — Henle. — Herschfield. — Poirier et Charpy. — Sappey. — Scarpa. — Testut, etc.

Cœur des Marsupiaux.

[1] Beddard. — On the visceral anatomy and brain of *Dendrolagus Benneti*. — Proc. Zool. Soc. London, 1895.

[2] Broom. — On the arterial archs and great veins in the fœtal Marsupial. — Journ. Anat. et Phys. London, 1898. Vol. 32.

[3] Cunningham. — Report on some points in the anatomy of the Thylacine, Cuscus and Phascogale collected during the voyage of H. M. S. Challenger in the years, 1873-76.

Challenger. Reports Zoology. Vol. V, part. xvi. 1882.

[4] Devez. — Un point d'anatomie du ventricule droit des Didelphes. — Bull. Mus. H. N. Paris, 1898.

[5] Id. — Architecture du cœur des Marsupiaux. Bull. Mus. H. N. Paris, 1903.

[6] Forbes. — On some points in the anatomy of the Koala (*Phascolarctos cinereus*). Proc. Zool. Soc. London, 1881.

[7] Martin. — Notes on the anatomy of the Koala (*Phascolarctos fuscus*). Proc. Zool. Soc. London, 1836.

[8] Owen. — Notes on the dissection of a long-tailed Dasyurus (*D. Macrourus*). Proc. Zool. Soc. London, 1835.

[9] Id. — Notes on the anatomy of the Wombat (*Phascolomys Wombat*). Proc. Zool. Soc. London, 1836.

[10] Id. — Art. « Marsupialia » in Tood's Cyclopedia ». Vol. III, 1841.

[11] Id. — Notes on the tree Kanguroo (*Dendrolagus insustus*). Proc. Zool. Soc. Lond.,1852.

[12] Id. — Comparative anatomy of vertebrates. Tome II, 1868.

[13] Parsons. — On the Anatomy of *Petrogale xanthopus* compared with that of other Kanguroo. Proc. Zool. Soc. London, 1896.

[14] Windle et Parsons. — On the Anatomy of *Macropus rufus*. — Journal Anat. et Phys. London, 1898.

Cœur des Monotrèmes

[15] Beddard. — On some points in the visceral anatomy of Ornithorhynchus. — Proc. Zool. Soc. 1894.

[16] Lankester. — On the valves of the heart of *Ornithorhynchus paradoxus*, compared with those of man and the Rabbit, with some observation on the « fossa ovalis ».— Proc. Zool. Soc. London, 1882.

[17] Id. — On the right cardiac valve of *Echidna* and of *Ornithorhynchus*. — Proc. Zool. Soc. London, 1883.

[18] Id. — On the right cardiac valve of the specimens of *Apterix* dissected by sir Richard Owen in 1841.— Proc.Zool.Soc.London,1885.

[19] Devez. — La valvule auriculo-ventriculaire du cœur droit d'Ornithorhynque. — Bull. Mus. H. N. Paris, 1903.

[20] Meckel. — Ornithorhynchi paradoxi descriptio anatomica. Lipsiæ 1826.

[21] Micklouho Mackay. — Temperature of the body of *Echidna hystrix*. Proc. Lin. Soc. N. S. Wales. Vol. 8, 1885.

[22] Id. — On the temperature of the body of *Ornithorhynchus paradoxus*. — Proc. Lin. Soc. N. S. Wales, vol. 8, 1885.

[23] Owen. — Art. « Monotremata » in Todd's Cyclopedia. Tome III, 1841.

[24] Id. — On the structure of the heart in *Ornithorhynchus* and *Apterix*. — Proc. Zool. Soc. London, 1885.

Ouvrages généraux.

[25] Born. — Uber die Bildung der Klappen, ostien und Schei dewaüde im Saugethiereherzen. Anat. Anzeig. III, Jahrg. 1888.

[26] Id. — Beitrage zur Entwiklungsgeschichte der Sangethierherzens. Arch. zur Mikr. Anat. Bd. XXXIII, 1889.

[27] Bernays. — Entwiklungsgeschichte der atrio ventricular Klappen. — Morph. Jahrb. Gegenbaur, 1876, II.

[28] Id. — The Development of the ventricular valve of the heart and of the walls of the ventricules. — New-York Med. Record. V. 34, 1888.

[29] Derselbe. — Zur Vergleicheden anatomie des Herzens. — Jen. Zeitsch. f. Nat. 1866.

[30] Gegenbaur. — Zur Vergleichenden anatomie des Herzens Jen. Zeitsch. Medic. II, 1866.

[31] His. — Anatomie menslicher embryonen. Leipzig, 1885.

[32] Hochtetter. — Beitrage Zur anatomie und Entwicklungsgeschichte des Blutgefassystem der Monotremen. — Denk. Med. Nat. Ges. Jena, 5 Bd., 1896.

[33] Id. — Die Entwicklung des Blutgefassystem, Hand des verg. exp. Entw. der Wirbelthiere. Hertwig. Jena, 1902.

[34] Jones. — Investigations chemical and physiological relative to certain american Vertebrata. — Extrait des Mém. de la Soc. Smithsonienne, à Washington, 1856.

[35] King. — On the safty-valve function in the right ventricle of the human heart, Mammalia and the birds. Guy's Hospital Rep. 1837.

[36] Lindes. — Em Beitrag sur Entwicklungsgeschichte des Hersens. — Inaug. Diss. Dorpat., 1865.

[37] H. Martin. — Recherches anatomiques et embryologiques sur les artères coronaires du cœur chez les Vertébrés. Thèse Paris, 1894.

[38] Reid. — Art. « Heart » du Todd's cyclopedia. Vol. II, 1839.

[39] Carl Röse. — Zur Entwicklungsgeschichte des Sangethierherzens. — Morph. Jahrb. 15 Bd., 1888.

[40] Id. — Beitrage zur vergleichenden anatomie des Herzens der Wirbelthiere. — Morph. Jahrb. 16 Bd., 1890.

[41] Sabatier. — Le Cœur dans la Série des Vertébrés. Thèse Paris. Montpellier, 1873.

[42] Id. — Etudes sur le Cœur et la circulation centrale dans la série des Vertébrés. — Annales Sc. Nat. Paris, 1873.

[43] Id. — Observations sur les transformations du système aortique dans la série des Vertébrés. — Ann. Sc. Nat. Paris, 1874.

[44] Selenka. — Studien über Entwicklungsgeschichte der Thiere. Das opossum. — Wiesbaden, 1886-1887.

[45] Martin-Saint-Ange. — Circulation du sang considéré chez le fœtus de l'Homme et comparativement dans les quatre classes des Vertébrés.

[46] Sutherland. — The temperatures of Reptiles, Monotremes and Marsupials. — Proc. Roy. Roc. Victoria. Melbourne. Vol. IX, N. S. 1897.

[47] Vignal. — Appareil ganglionnaire du cœur des Vertébrés. — Archives de Physiol., 1881.

[48] Brown. — The Construction of the cardiac ventricles in the Mammual's heart. — British med. Journ., 1888, et Journ. Anat. et Phys. London, 1889, vol. 23.

[49] Coën. — Über die Blutgefatze der Herzklappen. — Arch. Mikr. anat., 27 Bd. 1886.

[50] Curtis. — Structure des valvules sigmoïdes de l'aorte et de l'artère pulmonaire ; vascularité de la tunique moyenne et des gros vaisseaux. — C. R. Soc. Biol. Paris, tome V, 1888.

[51] Darier — Les vaisseaux des valvules du cœur chez l'Homme à l'état normal et à l'état pathologique. — Bull. Soc. anat. Paris 1887 et Arch. Physiologie, Paris, 1888.

[52] Dogiel. — Beitrag zur vergl. anat. u. phys. der Hersens. Arch. f. mikr. anat., 1894.

[53] Fano. — Studi sul cuore dei Chriopteri. — Bologne, 1885.

[54] Hyde. — Notes on the hearts of certain mammals.— Amer. Nat. Vol. 25, 1891.

[55] Jacques. — Recherches sur les nerfs du cœur chez la Grenouille et les Mammifères.— Journ. de l'Anat. 1894, et Anatomie de Poirier et Cherfy, tome II, 1903.

[56] Kent. — Recherches on the structure and function of the mammalian heart. — Journ. phys. Cambridge. — Vol. 14, 1893.

[57] Krause. — Die Blutgefätze der Herzklappen. — Internat. monat. acad. phys. 6 Bd., 1889.

[58] Lacroix. — Contribution à l'histologie normale et pathologique du péricarde. — Thèse Lyon, 1891.

[59] Lim Boon Keng. — On the nervous supply of the dog's heart. — Journ. phys. Cambridge. Vol. 14, 1893.

[60] Luschka. — Die structure der halbruonförmigen Klappen des herzens. — Arch. für phys. Heilk. t. XV, 1856.

[61] Manzone. — Ricerche sulla circolazione del cuore. — Ricerche lab. anat. Roma, vol. 8, 1901.

[62] H. Martin. — A new method of studying the mammalian heart. — Studies biol. labor. John Hopkin's univ. vol 2, 1881.

[63] Meigs. — The microscopical anatomy of the human heart showing the existence of capillaries within the muscular fibres. — Trans. Coll. phys. Philadelphia. Vol. 13, 1891.

[64] Id. — The penetration of the muscular fibres of the human heart by capillaries and the existence in that organ of very large capillaries. — Journ. Anat. Phys. London, 1899.

[65] Parchappe. — Du cœur, de sa structure et de ses mouvements. Paris, 1814.

[66] Patten. — Note on the configuration of the heart in man and some other mammalian groups.— Journ. anat. phys. London, vol. 35, 1901.

[67] Pettigrew. — On the arrangement of the muscular fibres in the ventricles of the vertebrate heart, with physiological remarks. — Philos. trans. 1864.

[68] Phisalix. — Etude d'un embryon humain de 10 millim. Arch. de Zool. exp., 1888.

[69] Quenu. — Développement du cœur et du péricarde. Thèse agrég. Paris, 1883.

[70] Reynier. — Des nerfs du cœur. Thèse agrég. Paris.

[71] Searle. — Art. « Arrangement of the fibres of the heart » in « Todd's Cyclopedia ». Vol. II, 1839.

[72] M. Sée. — Recherches sur l'anatomie et la physiologie du cœur. Paris, 1875.

[73] Sénac. — Traité de la structure du cœur. Paris, 1777.

[74] Weber et Deguy. — La région mitro-aortique. — Arch. de méd. exp. Paris, 1897.

[75] Winslow. — Observations sur les fibres du cœur et sur les valvules avec la manière de les préparer pour les démontrer. — Mém. de l'Acad des Sciences, Paris, 1711.

[76] Wooldrige. — Preliminary note on the innervation of the Mammalian heart. — Proc. Soc. London, 1883.

Cœur des Oiseaux, Reptiles, Amphibiens et Poissons.

[77] Beddard. — On the heart of Apterix. — Proc. Zool. Soc. London, 1885.

[77 bis] Id. — Notes on the anatomy of the Condor. — Proc. Zool. Soc. London, 1890.

[78] Beddard et Mitchell. — On the Structure of the heart of the Alligator. Proc. Zool. Soc. London, 1895.

[79] Bischoff. — Uber den Bau des Krokodilherzens, besonders von *Crocodilus lucius*. — Muller's arch. sur Anatomie, 1836.

[80] Boas. — Uber herz und arterienbogen bei *Ceratodus* und *Protopterus*. — Morph. Jahrb. 1880.

[81] Bojanus.— Anatome Testudinis europeæ.—Vilnæ, 1819-1821.

[82] Brücke. — Beitrage zur vergleicheden anatomie und physiologie der gefässystem. — Denk. der kaiserl. akad. der Wissenschaften. — Wien, 1852.

[83] Brunner. — On the heart of lungless Salamanders. — Proc. of the Indiana academy of Science Indianapolis, 1897, et Anat. Anz., 1899.

[84] Derselbe. — Anatomie des Frosches, 1896-1899.

[85] Ecker. — Anatomie des Frosche. 1881.

[86] Fritsch. — Zur vergleichenden anatomie der amphibienherzen. Arch. für anat. phys. von Reichert et Du Bois Reymond, 1869.

[87] Gash. — Beitrage zur vergleichenden anatomie des herzen der vögel und reptilien. — Archiv. Naturg. 1888.

[88] Guthrie. — Observ. on the heart of the *testudo indica* — Zool. Journ. 1829. T. IV.

[89] Hodgkinson. — Structure of the left auriculo-ventricular valve in Birds. — Journ. Anat. Phys. London, 1901.

[90] Hopkins. — The heart of some lungless Salamanders. — Amer. Natur. 1896.

[91] Hyrtl.— Uber das gefassystem der Fische.— Medic. Jahrb. des osterreichischten staate neueste Folge. Bd. 15, 1838.

[92] Id. — *Lepidosiren paradoxa*. Prag. 1845.

[93] Jacquart. — Mémoire sur les organes de la circulation chez le serpent Python. — Ann. Sc. Nat. Paris, 1855. T. IV.

[94] Jacquart et Dubreuil. — Mémoire sur le cœur de la Tortue franche. Ann. Sc. Nat. 1861.

[95] Langerhans. — Notiz zur anatomie des Amphibienherzens. — Zeitch. f. wissensch. Zool. 1873. Bd. 23.

[96] Lankester. — On the hearts of *Ceratodus*, *Protoptœrus* and *Chimœra* with an account of undescribed pocket valves in the conus arteriosus of *Ceratodus* and of *Protopterus*. — Trans. Zool. Soc. London. Vol. X. 1879.

[97] Id. — On the heart described by professor Owen in 1841 as that of Apterix. — Proc. Zool. Soc. London, 1885.

[98] Martin. — Note sur l'existence des vaisseaux nourriciers du

muscle cardiaque chez la Grenouille.— C. R. Soc. biol. Paris, 1893.

[99] A. Newton. — Dictionnary of Birds. 1893.

[100] Owen. — On the structure of the heart in the Perennibranchiate Batrachia. — Trans. Zool. Soc. Vol. I. 1834.

[101] Id. — Art. « Aves » in « Todd's cyclopedia ». Vol. I. 1836.

[102] Id. — Upon the anatomy of the Southern Apterix. — Trans. Zool. Soc. Vol. II. 1841.

[103] Osawa Gagutaro. — Beitrage zur anatomie des Japenischen Riesen Salamanders. — Mittheil. der Medic. facult. der Kaiserlich-japanishen Univ. Tokio. 1902.

[104] Rabl. — Ueber die Bildung des Herzens der Amphibien Ebendaselbst. Bd. 12. 1887.

[105] Jones T. Rymer. — Art. « Reptilia » in « Todd's cyclopedia ».

Ouvrages divers et phylogénie.

[106] Allen. — A preliminary study of the north american Opossums of the genus *Didelphys*. — Bull. of amer. Mus. of Natur. hist., 1901.

[107] Id. — A preliminary study of the South american opossums of the genous *Didelphys*. — Bull. of Amer. Natur. hist., 1902.

[108] Baudement. — Art. « Marsupiaux » in Dictionnaire d'Histoire naturelle de d'Orbigny.

[109] Beddard. — Note on the presence of an anterior abdominal vein in *Echidna*. — Proc. Zool. Soc. London, 1884, et Zool. Anz., 1884.

[110] Id. — Birds. — London Macmillan, 1898.

[111] Id. — Mammalia, 1902.

[112] Van Bemmelen. — On Reptilian affinities in the temporal region of the Monotremes Skull. — Proc. 4. Internat. Congress Zool. Cambridge, 1898.

[113] Bensley. — A Marsupial evolution. Abstr. — Science N. S. Vol. 14, 1901.

[114] Id. — On the question of an arboreal ancestry of the Marsupialia and the interrelationships of the Mammalian subclasses. A review of certain phases of present and post opinion. — Amer. Natur. Vol. 35.

[115] Id. — A theory of the origin and evolution of the australian Marsupialia. Amer. Natur. Vol. 35, 1901.

[116] de Blainville. — Dissertation sur la place que la famille des Ornithorhynques et des Echidnés doit occuper dans les séries naturelles. Paris, 1812.

[117] Broom. — On the existence of a sterno-coracoïdal articulation in a fœtal Marsupial. — Journ. anat. phys., London, 1897.

[118] Id. — Is there a critical period in Marsupial development. — Journ. anat. phys. London, 1897.

[119] Id. — On the structure and affinities of Udenodon. Proc. Zool. Soc. London, 1901.

[120] Caldwell. — The embryology of Monotremata and Marsupialia. Phil. Trans., 1887.

[121] Cope. — Note on the phylogeny of Vertebrata. — Amer. natur. 1884.

[122] Id. — The origin of mammalia. Id.

[123] Id. — On the evolution of vertebrata progressive and retrogressive. — Amer. natur. 1885.

[124] Id. — The relation between the Theromorphous Reptiles and the Monotrem Mammalia. — Proc. Amer. ass. Acad. sc., vol. 33. 1885.

[125] Id. — Synopsis of the families of vertebrata. — Amer. natur. 1890.

[126] Id. — The paleozoïc Reptilian order Cotylosauria. — Amer. natur. 1895.

[127] Dareste. — Note sur le cerveau des Rongeurs et particulièrement sur le cerveau du Cabiai. — Ann. Sc. Natur. Paris, 1885.

[128] Darwin. — L'origine des espèces. — Traduction française de Moulinié. Paris, 1873.

[129] Davy. — Notice sur la forme des globules du sang chez *Echidna hystrix*. — L'Institut. Tome VIII, 1840.

[130] Dependorf. — Zur Entwicklungsgeschichte des Zahnsystems der Marsupial. — Deuk. Medic. Nat. Ges. Jena 6 Bd. 1897.

[131] Elliot Cones. — Notes on variation of *Didelphys virginiana*. — Proc. ac. natur. Sc. Philad. 1871.

[132] Eydoux et Laurent. — Recherches anatomiques et zoologiques sur les Mammifères Marsupiaux. — Voyage autour du monde de *La Favorite*, 1888.

[133] Fletcher. — Catalogue of papers and works relating to the Mammalian orders Marsupialia and Monotremata. — Proc. Lin. Soc. N. S. Wals 1889. Vol. 9.

[134] Fleischmann. — Die Stammes vervandtschaft der nager (*Rodentia*) mit den Beutelthieren (*Marsupialia*). — Sitz. Ber. Akad. Berlin, 1890.

[135] Flower. — On the Commissures of the cerebral hemis-

phere of the Marsupialia and Monotremata ascompared with those of the placental Mammals. — Phil. Trans. 1865.

[**136**] Furbringer. — Zur vergleichenden Anatomie der Brustchulterapparate und der Schultermuskeln.—Zeit. natur. Jena, 1900.

[**137**] Gadow. — Origin of the mammalia. — Zeitsch. f. morph. u. Anthrop. Schwalbe. 1902.

[**138**] Gegenbaur. — Zur Kenntnis der marmarorgan der monotremen. — Leipzig, 1886.

[**139**] Gottbaux. — Etudes sur le trou de Botal et le canal artériel chez les animaux domestiques.— Journal d'anatomie de Robin. 1875.

[**140**] Gulliver. — On the size of the red corpuscles of the blood in the Vertebrates with copious tables of measurements. — Proc. Zool. Soc. London, 1845.

[**141**] Hill. — The placentation of *Perameles* (Contributions to the embryology of the Marsupialia) — Q. J. M. S. Vol. 40.

[**142**] Id. — On the fœtal membranes, placentation and parturition of the native cat (*Dasyurus viverrinus*). — Anat. anzeig., t. 18. 1900.

[**143**] Hobson. — Observation sur les globules du sang de l'Ornithorhynque. — Ann. Sc. Nat., t. III. 1845.

[**144**] Hœckel. — Histoire de la création naturelle ou doctrine scientifique de l'évolution. — Traduction française de Letourneau. Paris, 1884.

[**145**] Id. — Systematische phylogeny Entwurfeines naturlichen systems der organismen auf grund ihrer Stammesgeschichte. — 3. Bd. Syst. phyl. der Wirbelthiere. Berlin, 1894.

[**146**] Huxley. — On the classification on birds. — Proc. Zool. Soc. London, 1867.

[**146**bis] Id. On the respiratory organs of Apterix. — Proc. Zool. Soc. 1882.

[**147**] Kingsley. — The origin of the Mammals. — Science N. S. Vol. XIV. 1901.

[**148**] Lamarck. — Philosophie zoologique. — Paris, 1803.

[**149**] Laurillard. — Art. « Marsupiaux fossiles » du Dictionnaire d'Orbigny.

[**150**] Lydekker. — Handboock of the Marsupialia and Monotremata. — London, 1894.

[**151**] Mac Clure. — The variation of the venous system in *Didelphs Virginiana*. — Anat. Anz. 1900.

[**152**] Mackay. — The arterial system of Vertebrates homologically considered. — Mém. anat. Glascow, 1889.

[153] Marceau. — Note sur la structure du cœur chez les Vertébrés inférieurs, — et Recherches sur l'histologie et le développement comparés des fibres de Purkinge et des fibres cardiaques. — C. R. Soc. Biol. Paris 1901, et Bibliographie anatomique, 1902.

[154] Mivart. — The Cat. — London.

[155] Id. On the possibly dual origin of the Mammalia. — Proc. Roy. Soc. London. Vol. 43. 1888.

[156] Moser. — Beitrag zur vergleichenden entwicklungsgeschichte der wirbelthiere beim amphibien, Reptilien, Vogel, Sauger. — Arch. mikr. anat. 1902.

[157] Osborn. — The fœtal membranes of Marsupial. — Q. J. Mic. 1884; Zool. anz. 1884; S. Amf. ass. 1887; Journ. Morphol. 1888.

[157bis] Id. — The origin of Mammals. Congress Zool. Edimbourg. Cambridge, 1898.

[158] Owen. — On the Mammary glands of the *Ornithorhynchus paradoxus*. — Philos. trans. 1832.

[159] Id. — On the blood dises of Marsupiala. — Med. Gaz. 1839.

[160] Id. — Classification of the Marsupialia. Proc. Zool. Soc. 1839.

[161] Id. — Outliness of a classification of the Marsupiala. Proc. Zool. Soc. 1839.

[162] Id. — On the Characters, principles of division and primary groups of the Class Mammalia Proc. Lin. Soc. 1857.

[163] Parker. — On the Structure and developpment of the skull in the Mammalia. — Proc. Zool. soc. 1884.

[164] Id. — On the osteology of *Steatornis capensis*. Proc. Zool. soc. 1889.

[165] Id. — On the morphology of the Duck and Auktribes. — R. Irish. Acad. Cuningham, 1890.

[166] Parsons. — On the arrangement of the branches of the Mammalian aortic arch. — Journ. anat. et phys. 1902.

[167] Poulton. — True teeth in the young *Ornithorhynchus paradoxus*. — Proc. Zool. Soc. 1888.

[168] Rathke. — Aortenwurzeln der Saurien. — Denk. Wien. 1857.

[169] Rolleston. — Haweian oration, 1873.

[170] Et. Geoffroy St-Hilaire. — Anatomie philosophique, 1818.

[171] Id. — Mémoire où l'on se propose de rechercher dans quels rapports de structure organique et de parenté sont entre eux les animaux des âges historiques et vivant actuellement, et les espèces antédiluviennes et perdues. — Mém. du Mus. Hist. Nat. Paris. T. XVIII, 1828.

[172] Id. — Reflections on Dr Weatherhead's communication respecting the *Ornithorhynchus*. Proc. Zool. Soc. 1833.

[173] Seeley. — Researches on the structure organisation and classification of fossil reptiles. Proc. Zool. Soc. 1896.

[174] Id. — On the origin of Mammals. Proc. 4. Internation. Congress Zool. Cambridge, 1898.

[175] Serres. — Précis d'anatomie transcendante appliquée à la physiologie. Paris, 1842.

[176] Thomas Shore. — On the relation of the Mammalia to the Ichtyopsida and Sauropsida. — Journal anat. phys. London, 1887.

[177] Sixta. — Vergleichenden osteologische untersuchung über obren Bau der Frise der Reptilien Monotremen und Marsupialer. — Zool. anz. 1901.

[178] Elliot Smith. — Further observations on the anatomy of the brain in the Monotremata. — Journ. anat. et phys. London, 1899.

[179] Alfred Thomas. — Catalogue of the Marsupialia and Monotremata in the Collection of the British Museum. London, 1889.

[180] Ziehen. — Das central nervensystem der Monotremen und Marsupialier. — Jenaische Denk. VI. 1897.

[181] Wallace. — The geographical distribution of animals. London, 1876.

[182] Westling. — Anatomische untersuchungen über *Echidna*. — Bisch. Svenska Akad. Handl. Stokolm, 15 Bd. 1889.

[183] Wilson et Hill. — Observations upon the development and succession of the teeth in *Perameles* ; together with a contribution to the discussion of the homologies of teeth in Marsupial animals. — Q. Journ. Micr. Sc. Vol. 39, 1898.

[184] de Winton. — On some Mammals of Ecuador. — Proc. Zool. Soc. 1896.

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche I

Fig. 1. — Cœur de *Didelphys cancrivora*, grandeur naturelle ; ses rapports avec les organes voisins ; les poumons sont réclinés à droite et à gauche : *ao*, aorte ; *aod*, aorte descendante ; *ai*, artère intercostale ; *ap*, artère pulmonaire ; *az*, veine azygos ; *bcd*, *bcg*, veines brachio-céphaliques droite et gauche ; *cd*, *cg*, artères carotides droite et gauche ; *cp*, artère carotide primitive : *gd*, *gg*, ganglions cervicaux droit et gauche ; *gsd*, *gsg*, grand sympathique droit et gauche ; *jd*, *jg*, veines jugulaires droite et gauche ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche ; *œs*, œsophage ; *pgd*, *pgg*, nerfs pneumogastriques droit et gauche ; *pm*, lobe moyen du poumon droit relevé et recliné ; *phd*, *phg*, nerfs phréniques droit et gauche ; *rd*, *rg*, nerfs récurrents droit et gauche ; *scd*, *scg*, artères sous-clavières droite et gauche ; *thd*, *thg*, troncs thyro-scapulaires droit et gauche ; *tra*, trachée artère ; *vi*, veine intercostale ; *vscd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vci*, veine cave inférieure.

Fig. 2. — Cœur de *Didelphys opossum*, grandeur naturelle : les poumons sont en place, mais le diaphragme est écarté en bas : *th*, thymus ; *pe*, péricarde ; *pd*, *pg*, poumons droit et gauche ; *cph*, centre phrénique du diaphragme ; *d*, diaphragme ; *pl*, plèvre médiastinale. Les autres lettres comme dans fig. I.

Fig. 3. — Pointe du cœur, de *Did. cancrivora*, vue de face pour montrer la course des fibres musculaires : *fa*, fibres de face antérieure ; *fp*, fibres de la face postérieure ; *a*, faisceau antérieur de la pointe ; *b*, faisceau postérieur de la pointe.

Fig. 4. — Cœur de *Didelphys cancrivora*, grossi, 1/2 schématique pour montrer les nerfs principaux : *a*, aorte réclinée ; *ap*, artère pulmonaire ; *co*, artère coronaire ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche ; *gd*, *gg*, ganglions cervicaux inférieurs droit et gauche ; *gsd*, *gsg*, grand sympathique droit et gauche ; *pgd*, *pgg*, pneumogastriques droit et gauche ; *csd*, *csg*, nerfs cardiaques supérieur droit et gauche ; *cid*, *cig*, nerfs cardiaques inférieur droit et gauche ; *gca*, ganglion cardiaque antérieur ; *n*, nerfs superficiels provenant de ce ganglion.

Planche II

Fig. 1. — Face postérieure du cœur de *Didelphys crassidauta*, grossi 2 fois : *aug*, auricule gauche ; *co*, colonnes charnues de l'auricule ; *od*, oreillette droite ; *og*, oreillette gauche ouverte : *o*, orifice auriculo-ventriculaire ; *v*, ventricule ; *vci*, veine cave inférieure ; *vcsd*, *vcsg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vag*, veine azygos ; *vcd*, veine coronaire droite ; *vp*, veines pulmonaires ; *c*, orifice de l'auricule préaortique.

Fig. 2. — Ventricule gauche de *Didelphys cancrivora*, grandeur naturelle : *ao*, aorte ; *ac*, artère coronaire ; *c*, colonnes charnues de la cloison ; *pl*, région lisse de la cloison ; *va*, valvule mitrale ; p_1, p_2, p_3, piliers de la valvule ; P, paroi ventriculaire ; *vs*, valvule sigmoïde.

Fig. 3. — Ventricule droit de *Didelphys virginiana*, grandeur naturelle : *ao*, aorte ; *a*, région aréolaire de la paroi externe ; *ap*, artère pulmonaire ; *pa*, région lisse de la même ; *c*, colonnes charnues de deuxième ordre ; *cp*, carotide primitive ;

cd, *cg*, carotides droite et gauche ; *ct*, colonnes tendineuses modératrices ; *m*, muscle de l'infundibulum ; p_1, p_2, p_3, p_4, piliers de la valvule ; *sap*, infundibulum de l'artère pulmonaire ; *scd*, *scg*, artères sous-clavières droite et gauche ; *va*, valvule. Ce cœur ne présentait pas de valvules à l'artère pulmonaire.

Fig. 4. — Ventricule gauche de *Didelphys crassicaudata*, grandeur naturelle : *aud*, auricule droite ; *ao*, aorte ; *ac*, artère coronaire ; *c*, colonnes charnues de la cloison ; *cs*, coupe d'un pilier ; *cp*, carotide primitive ; *cd*, *cg*, carotides droite et gauche ; P, paroi ventriculaire ; *scd*, *scg*, artères sous-clavières gauche et droite ; *vs*, valvule sigmoïde de l'aorte.

Fig. 5. — Ventricule gauche de *Dasyurus maculatus*, grandeur naturelle : *P*, paroi ventriculaire ; *pd*, *pg*, piliers droit et gauche de la valvule ; *vap*, valve interne de la mitrale ; *vaci*, valve externe de la même, érignée ; *c*, colonnes charnues de l'angle ventriculaire ; *pl*, paroi lisse du ventricule.

Fig. 6. — Ventricule droit de *Phalanger ursinus*, grandeur naturelle : mêmes lettres que fig. 3.

Planche III

Fig. 1. — Cœur de *Phalanger maculatus* : *ao*, aorte ; *ap*, artère pulmonaire, branche innommée donnant les sous-clavières et carotides ; *vd*, *vg*, veines caves supérieures droite et gauche ; *vci*, veine cave inférieure ; *od*, paroi interne de l'oreillette droite ; *pa*, paroi externe du ventricule droit sectionnée et relevée ; *iap*, infundibulum de l'artère pulmonaire : *v* valvules sigmoïdes de l'artère pulmonaire ; *va*, valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire droite ; *p*, muscle de l'infundibulum jouant le rôle de premier pilier de la valvule ; *pm*, pilier secondaire né de p_1, représentant le « papillar muskel » de Luscka ; p_2, p_3, p_4, piliers successifs à leur place régulière ; *ct*, nombreuses cordes musculo-tendineuses modératrices ; *o*, orifice auriculo-ventriculaire droit.

Fig. 2. — Cœur de *Dasyurus maculatus* : *scd*, *scq*, artères sous-clavières droite et gauche ; *cp*, carotide primitive ; *cd*, *cg*, carotides droite et gauche. Les autres lettres comme dans fig. 1.

Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10. — Coupes transversales du cœur de *Didelphys murina* en série descendante : *aud*, *aug*, auricules droite et gauche ; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche ; *vd*, *vg*, ventricules droit et gauche ; *pd*, *pg*, parois des ventricules droit et gauche ; *cl*, cloison interventriculaire ; *ao*, aorte ; *v*, valvules sigmoïdes de l'aorte : *iap*, infundibulum de l'artère pulmonaire ; *c*, colonne charnue de l'angle antérieur des parois du ventricule droit ; p_2 et *pid*, piliers de la valvule auriculo-ventriculaire droite ; *pig*, pilier de la valvule mitrale.

Fig. 11. — Valvule sigmoïde aortique de *Didelphys opossum* fortement grossie : *p*, anneau fibreux de la paroi ; *f*, fibres élastiques passant de l'anneau sur la valvule ; *l*, lacunes ; *n*, nodule d'Arantius.

Fig. 12. — Endothélium de la valvule auriculo-ventriculaire droite de *Didelphys cancrivora*. Préparation au nitrate d'argent.

Planche IV

Fig. 1, 2, 3 et 4. — Coupes transversales totales de fœtus de *Didelphys cancrivora* dans la région thoracique. 3 et 4 passent au niveau du creux axillaire. Ces coupes sont considérées en série montante, et représentent la section supérieure ou céphalique du fœtus, de telle sorte que le côté droit du corps est vu à gauche de l'observateur et réciproquement.

p, peau; *gp*, muscle grand pectoral; *c*, cavité thoracique; *co*, côtes séparées entre elles par les muscles intercostaux; *s*, sternum; *v*, vertèbre dorsale; *m*, moelle épinière; *pd*, *pg*, *pm*, lobes pulmonaires droit, gauche et moyen (postérieur); *br*, bronches; *œs*, œsophage; *ao*, aorte; *ap*, artère pulmonaire; *od*, *og*, oreillettes droite et gauche; *aud*, *aug*, auricules droite et gauche; *vd*, *vg*, ventricules droit et gauche: *va*, valvule auriculo-ventriculaire droite; *pe*, péricarde, dont l'épaisseur a été exagérée sur le dessin, qui s'est séparé du cœur.

Fig. 5, 6, 7, 8 et 9. — Coupes longitudinales du cœur de *Didelphys cancrivora* jeune.

od, *og*, oreillettes droite et gauche; *aud*, *aug*, auricules droite et gauche; *vd*, *vg*, ventricules droit et gauche; *pd*, *pvd*, *pg*, *pgv*, parois du ventricule droit et du ventricule gauche; *cl*, cloison interventriculaire; *va*, valve externe de la valvule auriculo-ventriculaire droite; *vp*, valve septale de la même; *vm*, valvule mitrale; *p*, pilier de la valvule droite; *co*, pilier de la valvule mitrale; *ct*, corde musculo-tendineuse modératrice; *br*, bronche; *g*, ganglion nerveux; *f*, pointe du cœur, formée sur les côtés par le sommet du ventricule gauche.

Fig. 10. — Coupe longitudinale chez *Didelphys murina* destinée à montrer le péricarde; *au*, auricule gauche; *vg*, paroi du ventricule gauche; *p*, espace interpéricardique; *1*, 2, épithélium du feuillet viscéral; *3*, épithélium du feuillet pariétal; *5*, repli du feuillet viscéral dans le sillon séparant l'auricule du ventricule; *4*, péricarde viscéral dans l'épaisseur duquel on voit une artère *a*, une veine *v* et un nerf *n* (L'épaisseur du péricarde est exagérée à dessein).

Fig. 11. — Coupe verticale de la cloison, au niveau des valvules, chez *Did. cancrivora*, pour montrer l'anneau fibreux orificiel; *1*, épithélium endocardique du ventricule droit; *2*, couche septale droite de fibres musculaires; *3*, épithélium endocardique du ventricule gauche; *4*, couche conjonctive sous-endocardique; *5*, épithélium endocardique de l'oreillette gauche; 7, épithélium endocardique de l'oreillette droite; *6*, *8*, *9*, fibres musculaires de la cloison interauriculaire; *10*, fibres musculaires de la couche moyenne de la cloison interventriculaire; *11*, filaments élastiques provenant de l'anneau fibreux; *12*, anneau fibreux se prolongeant en *13* et en *14* vers les valvules; *vd*, *vg*, valvules auriculo-ventriculaires droite et gauche recouverte par l'épithélium endocardique et dans lesquelles se continuent les piliers élastiques de l'anneau fibreux orificiel.

Fig. 12. — Coupe transversale d'un pilier de la valvule auriculo-ventriculaire droite de *Did. lepida* à sa partie supérieure; *m*, faisceaux musculaires verticaux formant par leur réunion le corps du pilier; *t*, enveloppe tendineuse de laquelle naissent les membranes *v*, *v* de la valvule; *p*, pilier secondaire se détachant du pilier principal; *c*, espace vide entre les deux.

Fig. 13. — Région supérieure d'une coupe longitudinale du cœur de fœtus de *Did. cancrivora* pour montrer le ganglion nerveux *g* placé au-dessus de l'oreillette droite *od*, au niveau de la bifurcation des bronches.

CAUSTIQUES ET ANTICAUSTIQUES

Étude géométrique sur la réfraction

par M. Joseph DESCHAMPS

L'exposé ordinaire de la théorie de la réfraction présente, dès le début, le très grand inconvénient de ne pas donner un procédé simple de construction du rayon réfracté. On a bien sans doute la construction de Huyghens ; mais celle-ci, dans laquelle on doit mener des tangentes à deux circonférences, ne présente ni la simplicité, ni la précision voulues pour devenir une construction pratique.

Cette lacune, malheureusement très importante, retentit sur toute la suite de l'exposition, en faussant la plupart des résultats qu'il s'agit d'obtenir. On est en effet constamment dominé par la préoccupation d'éviter, comme à tout prix, l'indication de la marche dans un système optique d'un rayon lumineux qui ne soit pas un rayon particulier. De cette préoccupation sont nés les procédés qu'on développe dans tous les traités pour la construction des images. Malgré leur ingéniosité, ces méthodes sont inexactes, et même grossièrement inexactes.

Cette inexactitude n'aurait pas trop d'inconvénients, s'il ne s'agissait que de faire comprendre, dans un premier enseignement, l'effet général produit par une ou plusieurs réfractions et d'établir les distinctions entre les diverses catégories d'images au point de vue de leur position et de leur grandeur. Dans ces cas, en effet, l'inexactitude des constructions ne modifie pas la qualité des résultats.

Mais si, au lieu de s'en tenir à la généralité des faits, on veut entrer dans le domaine de la précision et déterminer avec exactitude la grandeur et la position de l'image fournie par un système optique, on reconnaît tous les défauts de ces méthodes graphiques dans lesquelles on néglige tant de choses : épaisseurs, courbures, distances à l'axe, et l'on pressent quelle influence, quelle erreur finale de résultat peuvent entraîner ces erreurs de procédés. La méthode de Gauss elle-même, malgré la puissante analyse du savant géomètre, n'échappe pas à cette critique, car, si elle tient compte des épaisseurs, elle laisse encore de côté les courbures et les dis-

tances à l'axe. D'ailleurs cette méthode devient très compliquée et presqu'inapplicable dans le cas d'un système complexe et *à fortiori* si l'on veut tenir compte des réfrangibilités différentes.

L'instrument géométrique est donc complètement en défaut dans cette question de la construction des images. Est-on mieux armé du côté du calcul ? Personne ne peut le penser ; et, dans ces questions de la réfraction, nul ne songe à retirer de la méthode analytique les avantages qu'on en retire dans tant d'autres questions. Les formules que l'on obtient ont, en effet, l'inconvénient d'être inexactes lorsqu'elles sont simples ; lorsqu'au contraire elles sont exactes, elles sont d'une complication qui écarte toute application possible. Ces défauts des formules proviennent de la manière même dont sont posées les questions à résoudre, et cela même est une nouvelle preuve que la marche suivie est mauvaise; car il est impossible, en dénaturant les faits dès le principe, de donner au calcul une idée directrice qui conduise, comme cela arrive presque toujours, dans les questions traitées naturellement, à des formules, sinon simples, du moins symétriques, et assez faciles à interpréter.

Il suit de tout cela que la théorie de la réfraction cause, sous sa forme actuelle, une profonde déception, déception d'autant plus grande qu'on a l'esprit plus habitué à une grande rigueur de méthode. Cette déception est aussi accompagnée d'une certaine surprise, parce qu'on s'étonne à bon droit qu'une question, paraissant en principe assez simple, reposant d'ailleurs sur une loi physique qui est, contrairement à tant d'autres, d'une exactitude rigoureuse et ne comporte aucune exception, ne conduise pas à des résultats d'une précision absolue. Il est remarquable en effet que l'approximation provienne, non pas du principe, mais de son développement à l'aide d'une méthode qui est cependant la méthode rigoureuse entre toutes.

Nous ajouterons enfin qu'il est vraiment anormal que, dans une théorie aussi essentiellement géométrique, les méthodes graphiques tiennent si peu de place, et que, lorsqu'il s'agit de construire et d'étudier un système optique, on ne puisse pas en faire l'épure et montrer *à priori* sur un dessin les effets qu'il est susceptible de produire. N'est-il pas extraordinaire qu'on soit obligé de laisser, dans la construction des instruments, une telle part à l'empirisme, au flair, à l'habileté des constructeurs ; qu'on ne puisse pas établir directement la formule d'un système de lentilles, et qu'il soit toujours nécessaire de se livrer à un essai, à une véritable expéri-

mentation pour en vérifier les qualités et les défauts, ceux-ci ne pouvant être atténués que par une suite de retouches et de tâtonnements plus ou moins méthodiques ?

Dans ces conditions, il est naturel de chercher à développer le côté géométrique de la théorie de la réfraction. C'est ainsi que nous avons été conduit à entrer dans cette étude pour compléter, si la chose est possible, les résultats obtenus jusqu'à présent.

Or, nous avons déjà montré, en ce qui concerne la marche des rayons centraux dans un système optique, que la géométrie fournit la solution méthodique et complète de la question, et que l'on peut, par des constructions très simples, trouver la position du foyer conjugué d'un point dans tous les cas possibles. Ces mêmes constructions ont, en outre, l'avantage de présenter le phénomène des aberrations chromatiques sous une forme concrète, de laquelle on peut déduire des procédés de correction presque complètement rigoureuse.

La question des rayons autres que les rayons centraux est plus complexe et n'est pas moins importante. On sait, en effet, pratiquement du moins, quelle influence considérable les rayons marginaux exercent sur la forme et la position des images. Nous nous proposons de montrer que la géométrie peut, sans trop de difficultés, suivre la marche de ces rayons considérés ordinairement comme des rayons aberrants et prévoir, autrement que par des méthodes de correction, les effets optiques produits par leur convergence. Cette étude est d'ailleurs intéressante et utile non-seulement au point de vue physique et pratique, mais encore au point de vue purement géométrique. C'est en effet le propre des applications d'enrichir et d'étendre le domaine de la théorie, les faits eux-mêmes venant au secours de l'imagination toujours trop peu féconde pour exiger de nouvelles combinaisons. Ainsi se révèle une fois de plus le rôle considérable de l'expérience dans la création et le développement des sciences les plus abstraites.

Quelle doit être dans tout cela la part du calcul, et doit-il être complètement négligé ? La réponse ne saurait être douteuse. Dans une étude, si spécialement géométrique qu'elle soit, le calcul ne peut pas être écarté. Ici, comme partout, le calcul doit être employé à la solution de questions convenablement et naturellement posées; il doit intervenir pour prêter à la géométrie, sa puissance d'investigation, de pénétration et de précision; en un mot, les deux éléments, l'un géométrique, l'autre analytique, doivent être fusionnés de façon à produire par leur réunion l'effet maximum.

C'est dans cet esprit qu'a été dirigée la présente étude.

Nous nous empressons d'ajouter qu'elle se rapporte à un sujet déjà beaucoup étudié et auquel des géomètres tels que Malus, Dupin, Sturm et Gergonne ont attaché leur nom par de remarquables travaux. Tout en nous appuyant sur ces travaux, nous avons pu obtenir un certain nombre de résultats nouveaux. Cela nous a permis de mettre en relief une question trop délaissée aujourd'hui, de coordonner et surtout de systématiser des résultats jusqu'à présent épars. Nous avons pu, en outre, dégager de l'analyse un peu détaillée que nous allons exposer des méthodes susceptibles d'une application pratique.

I. — THÉORÈMES FONDAMENTAUX DE GERGONNE ET DE STURM.

La réfraction tout entière est implicitement contenue dans le théorème de Gergonne et dans le théorème de Sturm qui en est la conséquence.

Le premier, qui est la traduction de la loi fondamentale de Descartes, exprime l'effet géométrique général de la réfraction, et par suite il est le point de départ nécessaire de toute étude de la marche des rayons lumineux. Le second théorème, géométrique lui aussi, est la base de l'interprétation et de l'explication des apparences, des effets optiques résultant de la réfraction.

En raison de l'importance de ces deux théorèmes, non seulement dans la théorie générale, mais encore dans l'étude que nous entreprenons, nous nous permettons de les exposer à nouveau sommairement, pour donner à notre travail la cohésion nécessaire.

Théorème de Gergonne (1). — L'énoncé de ce théorème est le suivant :

Quand un système de rayons lumineux normaux à une surface rencontre une surface réfringente, les rayons réfractés sont eux aussi normaux à une autre surface.

La théorie des ondulations étant acceptée telle qu'elle est formulée par le principe de Huyghens, complété lui-même par le théorème de Fresnel sur les ondes enveloppes, la proposition de Gergonne se conçoit immédiatement ; elle interprète le fait physique de la réfraction, et les surfaces, auxquelles sont normaux les rayons

(1) Ce théorème est également connu sous le nom de théorème de Malus et de Dupin.

incidents et les rayons réfractés, ne sont autres que les surfaces de l'onde à l'incidence et à l'émergence.

Indépendamment de la démonstration physique du théorème, le géomètre belge Timmermans en a donné une démonstration purement géométrique. Cette démonstration, aussi simple que lumineuse, se fait en considérant d'abord (fig. 1) un faisceau de rayons parallèles entre eux, tombant sur une surface réfringente plane. Ces rayons sont normaux à une surface plane, et celle-ci peut être considérée comme l'enveloppe de sphères décrites de chacun des points d'incidence comme centres avec des rayons respectivement égaux aux distances de ces points à la surface plane considérée, c'est-à-dire aux longueurs des portions des rayons incidents comprises entre cette surface et la surface d'incidence. Quant aux rayons réfractés, ils sont eux aussi parallèles entre eux et par conséquent normaux à une autre surface plane. Or si de chaque point d'incidence, comme centre, avec un rayon ρ_2 dont la longueur se déduit de la longueur du rayon incident correspondant ρ_1 pour la relation

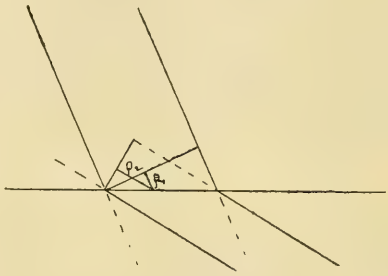


Fig. 1.

$$\rho_2 = \frac{n_1}{n_2}\,\rho_1\,,$$

n_1 et n_2 désigneront les indices relatifs au premier et au second milieux, on constate aisément que ces sphères enveloppent un plan perpendiculaire aux rayons réfractés.

Si maintenant on considère (fig. 2) des rayons normaux à une surface quelconque S_1, rencontrant une surface réfringente Σ, on peut prendre sur la surface S_1 un élément m_1 infiniment petit et considérer le faisceau infiniment mince qui lui est normal. Ce faisceau découpe sur la surface réfrin-

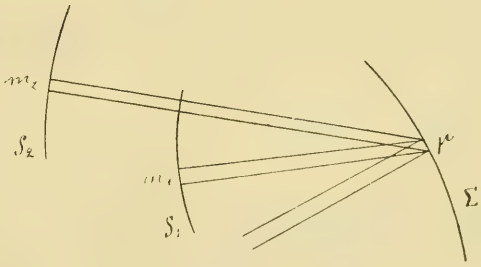


Fig. 2.

gente Σ un élément infiniment petit μ. Or, en vertu de leurs dimensions infiniment petites, les éléments m_1 et μ sont plans, et le faisceau normal à l'élément m_1 est formé de rayons parallèles. Donc, en vertu du cas précédent, l'élément m_1 est l'enveloppe de sphères ayant pour centre les divers points de l'élément μ et pour rayons les longueurs ρ_1 des rayons incidents comprises entre les deux surfaces S et Σ ; de même aussi les rayons réfractés sont normaux à un élément plan infiniment petit m_2, qui est l'enveloppe des sphères décrites des divers points de l'élément μ comme centres avec des rayons ρ_2 liés aux rayons correspondants ρ_2 par la relation

$$\rho_2 = \frac{n_1}{n_2} \rho_1$$

En répétant la même construction pour tous les éléments de la surface Σ, on obtiendra une infinité d'éléments m_2 dont l'ensemble constituera une surface S_2 normale aux rayons réfractés.

— L'énoncé de Gergonne entraîne immédiatement les deux suivants :

1° *Des rayons primitivement normaux à une surface sont encore normaux à une surface après un nombre quelconque de réfractions ;*

2° *Des rayons émanés d'un point unique ou parallèles entre eux sont normaux à une surface après un nombre quelconque de réfractions.*

Les rayons de ces deux dernières catégories sont en effet normaux, les premiers à une sphère, les seconds à un plan. Ils restent donc normaux à une surface après une première réfraction et par suite après autant de réfractions qu'on veut.

En raison de cette double circonstance qui est la circonstance pratique, le théorème de Gergonne domine, comme nous l'avons dit, tous les phénomènes de réfraction. Les applications ultérieures que nous nous proposons d'en faire dépendent de la relation qui a été établie par la démonstration précédente entre ce que nous avons appelé *la longueur du rayon incident* et *la longueur du rayon réfracté* correspondant. Nous avons appelé *longueur du rayon incident* la portion de ce rayon comprise entre la surface S_1 à laquelle il est normal et la surface réfringente Σ ; nous avons de même appelé *longueur du rayon réfracté* la portion de celui-ci comprise entre la surface réfringente Σ et la surface S_2 à laquelle il doit être normal.

En désignant par ρ_1 la première longueur et par ρ_2 la seconde, ou de

$$(1) \qquad \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Le rapport $\frac{n_1}{n_2}$ des indices de réfraction représente au point de vue physique, le rapport des vitesses de la lumière dans le premier et dans le second milieu ; il représente aussi le rapport des longueurs d'onde dans le premier et dans le second milieu. Au point de vue purement géométrique, la relation (1) est importante, parce qu'elle permet de construire par points la surface S_2 à laquelle les rayons réfractés sont normaux. Il suffit en effet, d'après la démonstration même de Timmermans, de prendre sur chaque rayon réfracté à partir de son point de rencontre avec la surface réfringente Σ et sur la portion de ce rayon dirigé dans le premier milieu la longueur

$$(2) \qquad \rho_2 = \frac{n_1}{n_2} \rho_1 .$$

Construction de la longueur du rayon réfracté. — Cette longueur définie par la formule (2) se construit par les procédés géométriques ordinaires de proportionnalité ; l'un d'eux consiste à mener par l'origine (fig. 3) la droite dont le coefficient angulaire est $\frac{n_1}{n_2}$ et à prendre sur l'axe des x la longueur ρ_1, par l'extrémité de laquelle on mène une parallèle à l'axe oy jusqu'à sa rencontre avec la droite précédente ; l'ordonnée ainsi obtenue est la longueur ρ_2. Nous choisissons ce procédé parce qu'il s'harmonise mieux que les autres avec d'autres constructions que nous avons à faire dans l'étude de la marche des rayons centraux.

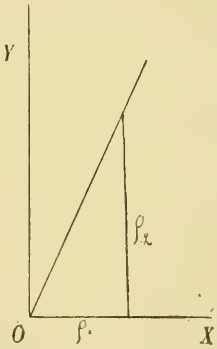


Fig. 3.

Or si l'on remarque que l'on a

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1},$$

i_1 et i_2, désignant les angles d'incidence et de réfraction, si d'autre part on observe que le triangle $A_1 M A_2$ (fig. 4) donne la relation

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\sin A_1}{\sin A_2},$$

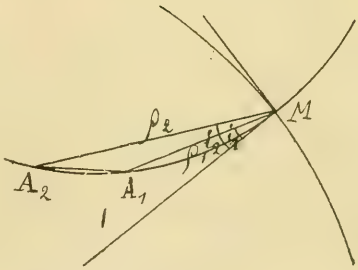


Fig. 4.

on voit que l'on a

$$\frac{\sin A_1}{\sin A_2} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1},$$

d'où

$$(3) \qquad \frac{\operatorname{tg} \frac{A_1 - A_2}{2}}{\operatorname{tg} \frac{A_1 + A_2}{2}} = \frac{\operatorname{tg} \frac{i_2 - i_1}{2}}{\operatorname{tg} \frac{i_2 + i_1}{2}}.$$

D'ailleurs dans ce triangle on a

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= \pi - M \\ &= \pi - (i_2 - i_1); \end{aligned}$$

il en résulte

$$\operatorname{tg} \frac{A_1 + A_2}{2} = \operatorname{cotg} \frac{i_2 - i_1}{2}$$

ou

$$\frac{1}{\operatorname{tg} \frac{A_1 + A_2}{2}} = \operatorname{tg} \frac{i_2 - i_1}{2}$$

La relation (3) devient alors

$$\operatorname{tg} \frac{A_1 - A_2}{2} = \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{i_2 + i_1}{2}},$$

de laquelle on tire

$$\frac{A_1 - A_2}{2} = \frac{\pi}{2} - \frac{i_2 + i_1}{2}$$

ou

$$A_1 - A_2 = \pi - (i_2 + i_1).$$

On a ainsi, pour déterminer les angles A_1 et A_2, les deux équations

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= \pi - (i_2 - i_1) \\ A_1 - A_2 &= \pi - (i_2 + i_1). \end{aligned}$$

On en tire

$$(4) \qquad \left\{ \begin{aligned} A_1 &= \pi - i_2 \\ A_2 &= i_1 \end{aligned} \right.$$

On voit ainsi que le point A_2, extrémité du rayon réfracté, se trouve sur la circonférence du segment décrit sur le rayon incident $A_1 M = \rho_1$ et capable de l'angle d'incidence i_1.

Le calcul précédent suppose $n_2 < n_1$. Dans le cas de $n_2 > n_1$, on aurait trouvé

$$(5) \qquad \left\{ \begin{aligned} A_1 &= i_2 \\ A_2 &= \pi - i_1, \end{aligned} \right.$$

et alors le point A_2 se trouverait sur la circonférence décrit sur $A M_1$ et capable de l'angle $\pi - i_1$. Mais comme dans ce cas, le rayon réfracté $A_2 M$ se trouve entre la normale et le rayon incident, tandis que, dans le premier cas, il est, par rapport au rayon incident du côté opposé à la normale, on voit que, pour trouver l'extrémité du rayon réfracté, il faut décrire la même circonférence que précédemment.

Nous proposons alors, pour compléter le théorème de Gergonne, le théorème suivant :

Théorème I. — *Etant donné le rayon incident* $A_1 M$ *compris entre la surface* S *à laquelle il est supposé normal et la surface réfringente* Σ, *l'extrémité du rayon réfracté correspondant se trouve toujours sur la circonférence décrite sur* $A_1 M$ *comme corde et telle que le segment déterminé par cette corde et situé par rapport au rayon incident du côté opposé à celui où se trouve la normale à la surface* Σ *soit capable de l'angle d'incidence* i_1.

Ce théorème permet, lorsqu'on connaît la direction du rayon réfracté, de déterminer son extrémité, et par conséquent de construire par points la surface S_2 à laquelle les rayons réfractés sont tous normaux.

Ce même théorème devient particulièrement intéressant, lorsque, au lieu de considérer un rayon incident $A_1 M$ de lumière homogène, on considère un rayon de lumière blanche. La réfraction sépare alors les rayons de réfrangibilités différentes. Mais, quelles que soient ces réfrangibilités, et quel que soit le sens de la réfraction, les extrémités de tous les rayons réfractés correspondant au même rayon incident se trouvent sur la même circonférence. Donc :

Théorème II. — *Quand un rayon de lumière non homogène se réfracte en un point* m *d'une surface* Σ, *le lieu des extremités de tous les rayons réfractés correspondants est la circonférence indiquée dans le théorème précédent.*

On remarquera que le centre de cette circonférence se trouve sur la tangente M T menée par le point M à la surface Σ dans le plan d'incidence, et que, par suite, étant orthogonale à la trace de la surface Σ, elle passe par le symétrique A'_1, du point A_1 par rapport à cette tangente.

Théorème de Sturm. — Il s'énonce ainsi : *Quand, dans un système de rayons lumineux normaux à une surface, on considère un pinceau infiniment étroit, les rayons de ce pinceau s'appuient, après une ou plusieurs réfractions, sur deux éléments de droite rectangulaires entre eux.*

Au point de vue purement géométrique, ce théorème ne fait qu'énoncer une propriété du système des normales à une surface. Tout système des normales à une surface rentre dans la catégorie des systèmes de droites désignés sous le nom de *congruences*, dont ils possèdent par suite les propriétés générales, en même temps que les propriétés particulières qui caractérisent les congruences de normales. Or on sait que chaque génératrice d'une congruence est rencontrée pas des génératrices infiniment voisines en deux points réels ou imaginaires, désignés sous le nom de *foyers*. L'ensemble des foyers de toutes les génératrices forment deux surfaces, ou plus généralement deux nappes d'une même surface, auxquelles sont tangentes toutes les génératrices de la congruence. De plus, et par suite de la première propriété, chaque génératrice de la congruence fait partie de deux surfaces développables qui se croisent suivant cette génératrice, les arètes de rebroussement de ces deux surfaces étant des lignes de la surface focale. Quant au point de contact de la génératrice avec l'arête de rebroussement, il n'est autre que l'un des foyers de cette génératrice ; il est aussi le point de contact du plan tangent mené par la même génératrice à la surface développable correspondante, ce plan étant désigné sous le nom de *plan focal*. De la sorte, à une génératrice donnée correspondent deux plans focaux.

Enfin, les génératrices infiniment voisines de celle-ci rencontrent les deux plans focaux respectivement suivant deux droites, appelées *droites focales*, qui sont perpendiculaires à la génératrice considérée et passent par ses foyers.

Dans le cas particulier où les génératrices de la congruence sont les normales à une même surface S :

1° Les foyers sont toujours réels et se confondent avec les centres de courbure des sections principales menées dans la surface S par la normale considérée ;

2° Les plans focaux sont rectangulaires et se confondent avec les plans des sections principales ;

3° Les deux surfaces développables dont chaque génératrice fait partie, et qui ont ici reçu le nom de *normalies développables*, se croisent à angle droit sur cette génératrice. Il en est de même par suite des plans focaux qui sont les plans tangents à ces surfaces. Quant aux intersections avec la surface S de ces normalies développables, elles sont les *lignes de courbure* de cette surface ;

4° Enfin, les droites focales sont, elles aussi, perpendiculaires

entre elles, puisqu'elles sont perpendiculaires à la même droite dans deux plans rectangulaires passant par cette droite.

Toutes ces propriétés sont, comme on le voit, des propriétés purement géométriques et sont démontrées par l'analyse infinitésimale en dehors de toute considération optique. Mais, lorsque de l'abstrait on passe au concret, c'est-à-dire lorsque les normales à une surface S deviennent les rayons lumineux d'un système réfracté, les propriétés précédentes ont une réalisation concrète qui se manifeste par la *visibilité* des points de rencontre des rayons lumineux voisins. Ainsi, sur chaque rayon lumineux se trouvent deux points particuliers remarquables, qui sont ceux désignés plus haut sous le nom de *foyers*, points visibles, puisqu'ils sont les points de rencontre de ce rayon avec des rayons infiniment voisins. De même à chaque rayon correspondent deux droites infiniment petites, lumineuses également, perpendiculaires entre elles et passant par les foyers. Ces droites, qui ne sont autres que les droites focales, sont les points de rencontre entre eux et avec les plans focaux des rayons infiniment voisins.

Ainsi se trouve démontré par la géométrie seule, le théorème de Sturm. On sait d'ailleurs que ce théorème a été expérimentalement vérifié par Sturm lui-même, qui a eu ainsi le double mérite de mettre en évidence et d'expliquer le véritable effet de la réfraction. On voit par là qu'il n'y a pas en général, à proprement parler, d'images d'un point par réfraction. Un faisceau étroit de rayons lumineux provenant d'un même point s'appuie, après réfraction, sur deux petites droites rectangulaires dont l'ensemble forme une croix lumineuse.

Le phénomène de la réfraction apparaît ainsi dans sa véritable signification. Il doit être regardé comme un mode particulier de transformation des figures qui, malheureusement au point de vue pratique, présente le très grand inconvénient de n'avoir pas la simplicité de certains modes de transformation, celui de l'homographie par exemple, dans lesquels à un point correspond toujours un point.

Dans le cas présent, à un point lumineux considéré comme point de départ correspond en réalité après réfraction toute une surface lumineuse ; et pour l'œil, qui n'en observe qu'une faible portion correspond une petite croix qui est alors ce qu'on peut appeler l'image du point. Cependant, ainsi que le dit Verdet : « lorsque l'intervalle des deux droites focales est une petite frac- « tion de l'intervalle qui sépare chacune d'elles du diaphragme

« par lequel le faisceau est limité, les droites focales sont très « petites toutes les deux, et le faisceau réfracté est très resserré « sur lui-même, dans la région intermédiaire à ces deux droites, « et même un peu au-delà, des deux côtés. Il y a donc un espace « de quelque étendue dans lequel il est possible d'obtenir sur « un écran une image passable d'un objet lumineux. » (1)

Ce mode de transformation est donc assez compliqué ; et les complications signalées s'augmentent de toutes celles qu'introduisent les réfrangibilités différentes. Toutefois, s'il faut regretter ces complications, c'est plutôt au point de vue pratique qu'au point de vue théorique. L'analyse arrive sans trop de peine à démêler le réseau des rayons réfractés ; il est plus difficile, au contraire, en raison des moyens limités dont on dispose, de guider ces rayons dans leurs suites de réfractions, de façon à obtenir dans toute sa perfection l'effet que l'on peut désirer. C'est pourquoi il est impossible de construire l'instrument parfait, qui reste toujours l'idéal irréalisable.

Ces difficultés ne doivent cependant pas empêcher de poursuivre une étude dont on retirera toujours des indications utiles au point de vue pratique. C'est pourquoi nous nous proposons d'appliquer les théorèmes de Gergonne et de Sturm à quelques cas particuliers. Nous rappellerons à cet effet que les génératrices d'une congruence sont toutes tangentes à deux surfaces focales qui sont le lieu des foyers situés sur chacune d'elles. Dans le cas de la réfraction, ces surfaces prennent le nom de *surfaces caustiques*, et nous venons de voir le rapport qu'elles présentent avec les images formées. Il est donc utile de déterminer la nature, la position et les points de contact de ces surfaces avec les rayons lumineux.

D'autre part, ces rayons lumineux, qui sont tangents aux surfaces caustiques, sont aussi normaux aux surfaces que fait connaître le théorème de Gergonne, et qui ont avec les surfaces caustiques la même relation que présentent entre elles les développées et les développantes. Nous exprimerons cette relation en désignant ces nouvelles surfaces sous le nom de *surfaces anticaustiques*, et nous nous proposerons également de déterminer leur nature et leur position. Toutefois nous bornerons la présente étude au cas d'une seule surface réfringente, plane ou sphérique.

Or, en prenant comme point de départ un point lumineux, nous observerons que la congruence des rayons incidents et la surface de réfraction sont toutes deux de révolution autour de la normale

(1) Verdet, *Cours de Physique*, tome II, pages 179-180.

menée par le point lumineux à la surface de réfraction. Les surfaces caustiques et anticaustiques sont donc, elles aussi, de révolution autour du même axe. Il suffit donc de déterminer leurs courbes méridiennes, auxquelles on peut alors donner le nom de *courbes caustiques et anticaustiques.*

II. — RÉFRACTION SUR UNE SURFACE PLANE

La réfraction sur une surface plane est la plus simple ; c'est aussi celle à laquelle se rattache la réfraction sur toutes les autres surfaces. C'est pourquoi, bien qu'elle soit mieux étudiée et mieux connue, il importe d'y insister encore tant au point de vue particulier qui nous occupe qu'au point de vue des applications ultérieures que nous nous proposons d'en faire.

1° Construction du rayon réfracté. — Nous rappellerons, pour mémoire, la construction indiquée par Huyghens et mentionnée dans tous les traités. Cette construction trop compliquée peut être remplacée avec avantage par l'une des suivantes.

1er Procédé. — Il consiste à appliquer le théorème de Gergonne et les deux théorèmes que nous en avons déduits. Le rayon réfracté correspondant à un rayon incident $P_1 A = \rho_1$, a, comme nous l'avons vu, pour longueur

$$(6) \qquad \rho_2 = \frac{n_1}{n_2} \rho_1.$$

Son extrémité P_2 (fig. 5) se trouve donc sur la circonférence décrite du point A comme centre avec cette longueur ρ_2 pour rayon. Elle se trouve aussi, comme nous l'avons démontré, sur la circonférence du segment décrit sur P_1 A comme corde et capable de l'angle d'incidence i_1, c'est-à-dire sur la circonférence passant par les deux points A et P_1, et par le point P'_1 symétrique du point P_1 par rapport à la surface d'incidence.

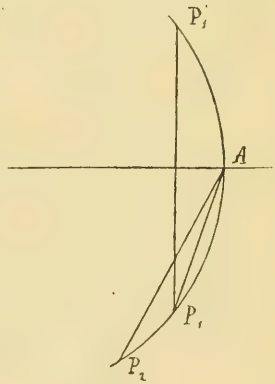


Fig. 5.

Cette méthode, quoique très simple, présente l'inconvénient d'exiger pour chaque rayon incident la construction d'une nouvelle circonférence ; il est à remarquer cependant que, le point P'_1 restant fixe, toutes ces circonférences

passent par les deux points P_1 et P'_1 ce qui facilite leur construction. La seule véritable difficulté graphique provient de ce que le rayon de cette circonférence peut devenir très grand, lorsque la distance du point P_1 à la surface réfringente est elle-même assez grande. Mais il ne faut pas perdre de vue que ce procédé fournit non seulement le rayon réfracté, mais encore le point de la surface anticaustique correspondant au rayon incident considéré.

2me *Procédé.* — Désignons (fig. 6) par P'_2 le point où le rayon réfracté rencontre la normale P_1 O menée à la surface par le point P_1, et par ρ'_2 la longueur AP'_2. Les triangles OAP_1, OAP_2 nous donnent :

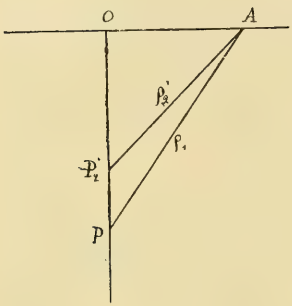


Fig. 6.

$$OA = \rho_1 \sin i_1$$
$$OA = \rho'_2 \sin i_2 ;$$

il en résulte

$$\rho'_2 \sin i_2 = \rho_2 \sin i_1$$

d'où

$$\rho'_2 = \rho_1 \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$$

et finalement

$$(7) \qquad \rho'_2 = \frac{n_2}{n_1} \rho_1 .$$

Cette égalité fait connaître la valeur de ρ'_2, laquelle peut se construire facilement ainsi qu'on l'a vu plus haut. Nous avons ainsi pour le rayon réfracté, une méthode très simple, qui n'exige au fond que la connaissance de la normale menée par le point lumineux à la surface.

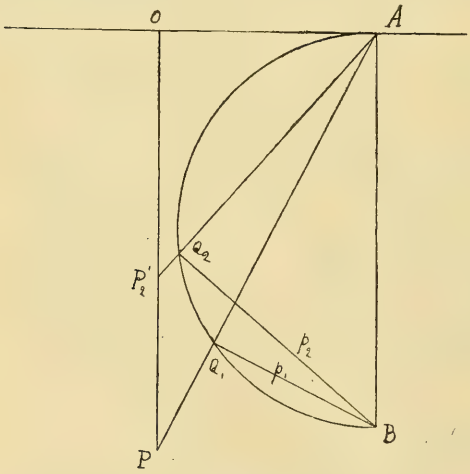


Fig. 7.

3e *Procédé.* — Soit P_1 A un rayon incident (fig. 7). Sur la normale AN au point d'incidence prenons une longueur quelconque AB, sur laquelle nous décrirons une demi-circonférence rencontrant le rayon incident en un point Q_1 et le rayon réfracté en un point Q_2. Menons ensuite les

droites BQ_1 et BQ_2 que nous désignerons par p_1 et p_2. Ces droites étant respectivement perpendiculaires à AQ_1 et AQ_2, les triangles ABQ_1, ABQ_2 donnent

$$p_1 = AB \sin i_1$$
$$p_2 = AB \sin i_2 ,$$

d'où

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2}.$$

On déduit de là

$$(8) \qquad p_2 = \frac{n_1}{n_2} p_1$$

On a ainsi la longueur p_2 qu'on peut construire par le procédé connu, et de laquelle on déduit avec le point Q_2 le rayon réfracté. Cette troisième méthode pour la constructiou du rayon réfracté exige la circonférence décrite sur une portion de la normale comme diamètre ; nous verrons qu'elle peut être avantageuse dans certains cas, et c'est pourquoi nous la signalons.

Multiplions membre à membre les qualités (7) et (8) ; il vient

$$(9) \qquad \rho'_2 p_2 = \rho_1 p_1,$$

égalité exprimant que, quel que soit le point B sur la normale au point d'incidence, les aires des triangles ABP'_1, ABP_2 sont égales, résultat géométriquement évident.

2° **Surface anticaustique.** — La surface plane étant de révolution autour de la perpendiculaire menée par le point lumineux P à cette surface, la congruence des rayons incidents et celle des rayons réfractés sont aussi de révolution autour de cette droite. Il suffit donc d'examiner ce qui se passe dans un plan quelconque passant par l'axe de révolution pour obtenir ce que nous avons appelé la courbe anticaustique, courbe méridienne de la surface anticaustique.

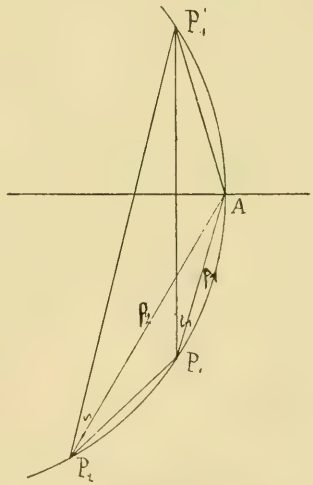


Fig. 8.

La nature de cette courbe se détermine aisément. Le point P_2 étant en effet situé sur la circonférence qui passe par le point A_1, le point P_1 et le symétrique P'_1 de celui-ci par rapport à la surface d'incidence (figure 8), les angles $AP_2 P_1$,

$AP_2 P'_1$ sont, dans le cas de $n_2 < n_1$, égaux entre eux. Comme d'ailleurs la droite AP_2 est normale à la courbe cherchée, on voit que celle ci est telle que la normale en chacun de ses points est bissectrice de l'angle que font entre elles les droites joignant ce point aux deux points fixes P_1 et P'_1. Cette courbe est donc une ellipse ayant pour foyers les points P_1 et P'_1.

Il est facile d'ailleurs de vérifier que la somme $P_1 P_2 + P'_1 P_2$ de ces deux rayons vecteurs est constante. En effet, les deux angles égaux en P_2 sont égaux à l'angle $AP_1 P'_1 = i_1$, et par conséquent les deux triangles $P_1 P_2 P'_2$, $P_1 P_2 P'_2$ donnent

$$\frac{P_1 P_2}{\sin i_2} = \frac{P_1 P'_2}{\sin i_1}$$

$$\frac{P'_1 P_2}{\sin i_2} = \frac{P'_1 P'_2}{\sin i_1}$$

d'où en ajoutant membre à membre

$$\frac{P_1 P_2 + P'_1 P_2}{\sin i_2} = \frac{P_1 P'_2 + P'_1 P'_2}{\sin i_1}$$

$$P_1 P_2 + P'_1 P_2 = P_1 P'_1 \frac{\sin i_2}{\sin i_1}$$

$$P_1 P_2 + P'_1 P_2 = \frac{n_1}{n_2} P_1 P'_1. \tag{9}$$

La somme des deux rayons vecteurs est donc constante, et par suite la courbe anticaustique est bien une ellipse. L'égalité (9), que nous venons d'obtenir, montre que l'excentricité de cette ellipse est égale au rapport $\frac{n_2}{n_1}$ des indices de réfractions dans le second et le premier milieux.

On obtient le même résultat beaucoup plus rapidement par la considération du quadrilatère inscriptible $AP_1 P_2 P'_1$; qui donne

$$P_1 P_2 . AP'_1 + P'_1 P_2 . AP_1 = P_1 P'_1 . AP_2$$

Or on a d'une part :

$$AP_1 = AP'_1 = \rho_1$$

on a d'autre part

$$AP_2 = \frac{n_1}{n_2} \rho_1 .$$

D'ailleurs

$$P_1 P'_1 = 2 p_1.$$

L'égalité précédente devient donc, après simplification

$$P_1 P_2 + P'_1 P_2 = 2 \frac{n_1}{n_2} p_1.$$

On retrouve ainsi l'égalité (9).

— Les résultats que nous venons d'obtenir ont l'avantage de mettre en évidence quelques propriétés de l'ellipse, qui sont démontrées en même temps qu'exprimées par les formules précédentes. Ces propriétés sont les suivantes :

Quand on mène à une ellipse la normale en un quelconque P_2 *de ses points et qu'on la prolonge jusqu'à sa rencontre avec chacun des deux axes en* P'_2 *et en* A, *puis qu'on joint ce dernier point à l'un des foyers* P_1;

1° *Le rapport de la distance* P_1 A *à la longueur totale* P_2 A *de la normale est constant et égal à l'excentricité* ;

2° *Le rapport de la portion de la normale* P'_2 A *comprise entre les deux axes à la distance* P_1 A *est aussi constant et égal à l'excentricité ;*

3° *La longueur* A P_1 *est moyenne proportionnelle entre les deux longueurs* A P_2 *et* A P'_2 ;

4° *Le rapport de la longueur* A P'_2 *à la longueur* A P_2 *de la normale est constant et égal au carré de l'excentricité.*

Les deux premières propriétés sont la traduction des formules.

$$(6) \quad \rho_2 = \frac{n_1}{n_2} \rho_1$$

et

$$(7) \quad \rho'_2 = \frac{n_2}{n_1} \rho_1$$

Les deux autres s'obtiennent en multipliant ou en divisant ces formules membre à membre.

Il nous reste à faire remarquer que, si, pour une même incidence, on fait varier l'indice de réfraction, les extrémités des rayons réfractés correspondants se déplacent sur le même cercle, comme nous l'avons déjà montré dans l'étude générale du théorème de Gergonne. Mais en même temps ces extrémités se trouvent sur des ellipses homofocales en des points qui se correspondent de telle façon que les normales en ces points rencontrent le petit axe de ces ellipses en un même point A. On obtient ainsi une interprétation physique curieuse du système des ellipses homofocales.

Nous avons, dans tout ce qui vient d'être dit, supposé $n_2 < n_1$. Si l'on supposait au contraire $n_2 > n_1$, on trouverait, en procédant de la même manière, que le lieu du point P_2 est une hyperbole ayant pour foyers les points P_1 et P_1', et dont l'excentricité est égale à $\frac{n_2}{n_1}$. On obtiendrait pour cette hyperbole des propriétés analogues à celles que nous avons trouvées pour l'ellipse, la variation de réfrangibilité conduisant de même à un système d'hyperboles homofocales.

3° **Surfaces caustiques.** — La surface anticaustique étant un ellipsoïde ou un hyberboloïde de révolution, ses lignes de courbure sont les méridiens et les parallèles. Les normales menées par les points d'un même parallèle formant un cône de révolution autour de l'axe de la surface anticaustique et se rencontrent toutes au sommet de ce cône. Le lieu des points de rencontre correspondant aux divers parallèles est donc l'axe de révolution, et par suite l'une des surfaces caustiques se réduit à cette droite.

Quant aux normales menées par les divers points d'un même méridien, elles sont situées dans un même plan et par suite elles enveloppent dans ce plan une courbe qui n'est autre que la développée de l'ellipse ou de l'hyperbole méridienne. Cette courbe est la courbe caustique généralement considérée ; les caustiques correspondant aux divers plans méridiens forment une surface de révolution, qui est la seconde surface caustique et dont la méridienne est la développée d'ellipse ou d'hyperbole.

1° Equation tangentielle du rayon réfracté.— Il est intéressant de vérifier directement par le calcul la nature de la courbe caustique. Soit P_1 A (fig. 9) un rayon incident variable émané du point P_1 supposé fixe ; en désignant par ρ_1 la distance OP_1 et en prenant pour axes de coordonnées la trace OX du plan réfringent et la normale OY passant par le point P_1, l'équation du rayon incident est :

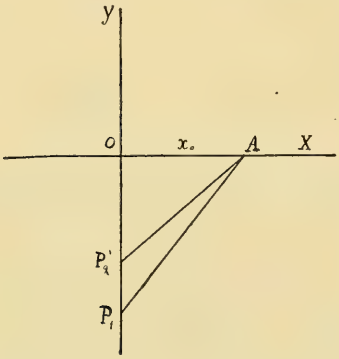


Fig. 9.

$$(10) \qquad y = m_1 x - l_1$$

Soit alors AP'_2 le rayon réfracté correspondant ; en posant $OP'_2 = l_2$, l'équation de ce rayon est de même

$$(11) \qquad y = m_2 x - l_2.$$

On peut se proposer d'abord de calculer l_2 et m_2 en fonction de l_1 et de m_1. Pour cela, désignons par x_o et y_o les coordonnées du point A commun aux deux rayons ; leurs valeurs s'obtiennent par la résolution des équations simultanées (10) et (11), et l'on a

$$\begin{cases} x_o = \dfrac{l_2 - l_1}{m_2 - m_1} \\ y_o = \dfrac{l_1 m_2 - m_1 l_2}{m_2 - m_2} \end{cases}$$

Or le point A étant sur l'axe OX, on a $y_o = o$, et par suite

$$(12) \qquad l_1 m_2 - m_1 l_2 = o$$

ou

$$(12') \qquad \frac{l_2}{l_1} = \frac{m_2}{m_1}.$$

On a ainsi une première relation entre les deux inconnues. Pour en trouver une seconde, nous rappellerons qu'on a

$$\frac{\rho'_2}{\rho_1} = \frac{n_2}{n_1},$$

d'où

$$(13) \qquad n_1^2 \rho'^2_2 - n_2^2 \rho_1^2 = o$$

Or, comme $OA = x_o$, on a

$$\rho_1^2 = l_1^2 + x_o^2$$
$$\rho_2'^2 = l_1^2 + x_o^2;$$

ou, à cause de $y_o = o$

$$\rho_1^2 = (l_1 - y_o)^2 + x_o^2$$
$$\rho_2'^2 = (l_2 - y_o)^2 + x_o^2.$$

En remplaçant x_o et y_o par leurs valeurs trouvées plus haut, on trouve

$$\rho_1^2 = \frac{(l^2 - l_1)^2 (1 + m_1^2)}{(m_2 - m_1)^2}$$
$$\rho_2'^2 = \frac{(l_2 - l_1)^2 (1 + m_2^2)}{m_2 - m_1)^2}$$

La relation (13) devient alors

$$(14) \qquad n_1^2 (1 + m_2^2) - n_2^2 (1 + m_1^2) = o.$$

On a ainsi les deux relations (13) et (14) pour calculer les deux inconnues l_2 et m_2.

Cela étant, il suffit d'éliminer entre ces deux équations la variable m_1 pour obtenir l'équation tangentielle de l'enveloppe du rayon réfracté, c'est-à-dire de la caustique de réfraction. Tous calculs faits, on trouve

$$(15) \qquad n_1^2 l_2^2 m_2^2 - n_2^2 l_1^2 m_2^2 + (n_1^2 - n_2^2) l_2^2 = o.$$

Suivant que l'on a $n_2 < n_1$ ou $n_2 > n_1$, on reconnaît que cette équation représente une développée d'ellipse ou une développée d'hyperbole.

— En résolvant, comme nous l'avons dit, les équations (13) et (14) on obtient les valeurs l_2 et m_2 qui correspondent au coefficient

angulaire variable du rayon incident. Au point de vue des applications, il est plus avantageux de remplacer la variable m_1 par l'abscisse $oA = x_o$ du point d'incidence. Or on a

$$x_o = \frac{l_1}{m_1} = \frac{l_2}{m_2},$$

d'où

$$m_1 = \frac{l_1}{x_o}$$

$$m_2 = \frac{l_2}{x_o}$$

En portant ces valeurs dans l'équation (14), on trouve pour la valeur de m_2 seule intéressante à calculer

$$(16) \qquad l_2^2 = \frac{n_2^2}{n_1^2} l_1^2 - \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2} x_o^2$$

Nous aurons plus loin à utiliser et à interpréter cette formule.

2° Point de contact d'un rayon réfracté avec son enveloppe. — La position de ce point sur le rayon réfracté correspondant peut être déterminée, soit par l'analyse, soit par de simples considérations de géométrie infinitésimale.

Procédé géométrique. — Soient $P_1 A_1$, $P_1 A'_1$ deux rayons incidents infiniment voisins (fig. 10) et soit S le point de rencontre des rayons réfractés correspondants. Le point cherché sur AP_2' est, à proprement parler, la limite du point S quand le point A' se rapproche indéfiniment du point A.

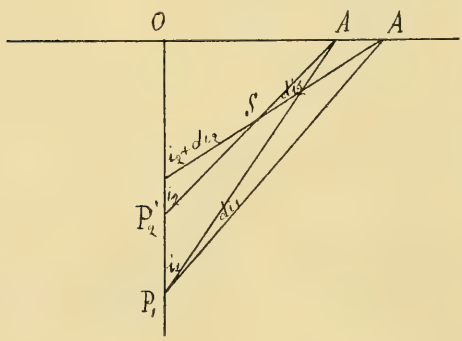


Fig. 10.

Les angles ayant les valeurs indiquées sur la figure, les triangles $A S A'_1$, $A P_1 A'$ donnent

$$\frac{AS}{AA'} = \frac{\cos(i_2 + di_2)}{\sin di_2}$$

$$\frac{AP_1}{AA'} = \frac{\cos(i_1 + di_1)}{\sin di_1}$$

En négligeant, comme on en a le droit, les infiniment petits d'ordre supérieur, on peut écrire

$$\frac{A\,S}{A\,A'} = \frac{\cos i_2}{di_2}$$

$$\frac{A\,P_1}{A\,A'} = \frac{\cos i_1}{di_1}$$

On déduit de là, en divisant membre à membre

$$\frac{A\,S}{A\,P_1} = \frac{\cos i_2}{\cos i_1} \cdot \frac{di_1}{di_2}.$$

Or, de la relation fondamentale de Descartes

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

on déduit par différentiation

(17) $$n_1 \cos i_1\, di_1 = n_2 \cos i_2\, di_2\,,$$

d'où

$$\frac{di_1}{di_2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\cos i_2}{\cos i_1}.$$

En tenant compte de ce résultat, on a

$$\frac{A\,S}{A\,P_1} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1}.$$

Pour tirer de là une valeur simple de AS, nous rappellerons que nous avons posé $A\,P_1 = \rho_1$, $A\,P'_2 = \rho'_2$, et que

$$\rho'_2 = \frac{n_2}{n_1}\,\rho_1.$$

On a ainsi

(18) $$AS = \rho'_2\,\frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1}.$$

Cette formule résout le problème, et nous observerons que la valeur ainsi obtenue pour AS peut être construite géométriquement, circonstance avantageuse pour le but que nous nous proposons.

Procédé analytique. — Prenons les mêmes axes que précédemment; l'équation du rayon réfracté $A\,P'_2$ peut se mettre sous la forme

$$y = (x - x_0)\,\mathrm{cotg}\, i_2,$$

ou, en remplaçant x_0 par sa valeur $p_1\, tg i_1$.

(19) $$(x \cos i_2 - y \sin i_2)\cos i_1 - p_1 \sin i_1 \cos i_2 = o.$$

Cherchons, d'après la méthode ordinaire, l'équation de l'enveloppe de la droite représentée par cette équation. Différentions pour cela l'équation (19), il vient

$$\left\{ (x \sin i_2 + y \cos i_2) \cos i_1 - p_1 \sin i_1 \sin i_2 \right\} di_2$$
$$+ \left\{ (x \cos i_2 - y \sin i_2) \sin i_2 + p_1 \cos i_2 \cos i_2 \right\} di_1 = o$$

En tenant compte de l'équation (18), cette dernière se réduit à

$$(20) \quad \left\{ (x \sin i_2 + y \cos i_2) \cos i_1 - p_1 \sin_1 \sin i_2 \right\} \cos i_1 \, di_1 + \cos i_2 \, di_1 = o$$

On a d'ailleurs trouvé plus haut la relation

$$(17) \qquad n_1 \cos i_2 \, di_1 - n_2 \cos i_2 \, di_2 = o$$

Eliminons maintenant les différentielles di_1 et di_2 entre les équations (20) et (17), nous trouvons :

$$(21) \quad \left\{ (x \sin i_2 + y \cos i_2) \cos i_1 - p \sin i_1 \sin i_2 \right\} n_1 \cos^2 i_1$$
$$+ n_2 \, p_1 \cos^2 i_2 = o$$

L'équation explicite de l'enveloppe s'obtient alors en éliminant les variables i_1 et i_2 entre les équations (20), 21 et la relation de Descartes

$$(22) \qquad n \sin i_1 - n_2 \sin i_2 = o.$$

Or, au lieu de faire cette élimination, on peut considérer l'enveloppe cherchée comme représentée par l'ensemble des équations (19), (21) et (22) entre les 4 variables x, y, i_1 et i_2, dont une seule est arbitraire.

Pour interpréter plus facilement ces équations, nous remarquerons d'abord que les équations (19) et (21) peuvent s'écrire

$$x \cos i_2 - y \sin i_2 = \frac{p_1 \sin i_1}{\cos i_1} \cos i_2$$

$$x \sin i_2 + y \sin i_2 = \frac{p_1 \sin i_1}{\cos i_1} \sin i_2 - \frac{n_2}{n_1} \frac{p_1}{\cos i_1} \frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1},$$

ou

$$x \cos i_2 - y \sin i_2 = x_o \cos i_2$$

$$x \sin i_2 + y \cos i_2 = x_o \sin i_2 - \frac{n_2}{n_1} \rho_1 \frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1}$$

ou enfin

$$\begin{cases} (23) & x \cos i_2 - y \sin i_2 = x_o \cos i_2 \\ (24) & x \sin i_2 + y \cos i_2 = x_o \sin i_2 - \rho'_2 \dfrac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1} \end{cases}$$

Ces deux dernières équations fournissent les deux coordonnées

x et y d'un point de l'enveloppe en fonction d'un système de valeur des angles i_1 et i_2 liés l'un à l'autre par la relation (21). Or la première de ces équations représente le rayon réfracté sur lequel on cherche le point où il touche son enveloppe. La seconde représente une droite perpendiculaire à ce rayon et le rencontrant au point cherché S. Tout revient donc à la construction de cette perpendiculaire.

Prenons à cet effet (fig. 11) la droite OG perpendiculaire au rayon AP_2', et remarquons : d'une part que la distance de cette perpendiculaire à l'origine, distance égale à GS a pour valeur

$$x_0 \sin i_2 - \rho'_2 \frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_2}$$

d'autre part que l'on a :

$$AG = x_0 \sin i_2.$$

Il suit de là que

$$AS = AG - GS$$

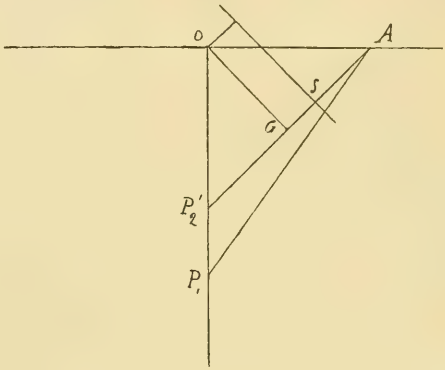


Fig. 11.

$$= x_0 \sin i_2 - \left(x_0 \sin i_2 - \rho'_2 \frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1}\right)$$

c'est-à-dire

$$AS = \rho'_2 \frac{\cos^2 i_2}{\cos^2 i_1}.$$

On retrouve ainsi, pour déterminer la position du point S sur le rayon réfracté AP'_2, la même relation que par la méthode géométrique.

III. — RÉFRACTION SUR UNE SURFACE SPHÉRIQUE

Nous allons suivre exactement la même marche que pour une surface plane et traiter les mêmes questions.

1° **Construction du rayon réfracté.** — Cette construction se fait par l'un des trois procédés précédemment indiqués.

1er Procédé. — Il consiste encore dans l'application du théorème de Gergonne et des théorèmes que nous en avons déduits. Soit $P_1 A = \rho_1$ (fig. 12) un rayon incident quelconque ; la longueur ρ_2 du

rayon réfracté, suivant la définition que nous en avons donnée, a pour valeur

$$\rho_2 = \frac{n_1}{n_2} \rho_1 ,$$

et par suite son extrémité P_2 se trouve sur la circonférence décrite du point A comme centre avec ρ_2 pour rayon. Elle se trouve aussi sur la circonférence du segment décrit sur P_1 A comme corde et capable de l'angle d'incidence i_1, circonférence orthogonale à la circonférence qui est la trace sur ce plan de la surface réfringente.

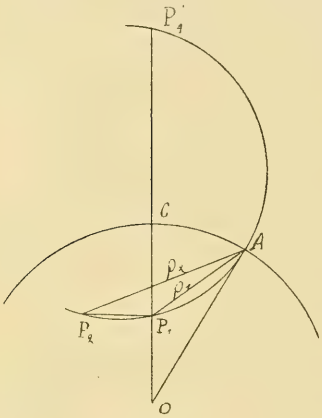


Fig. 12.

Cette construction, très simple, il est vrai, présente l'inconvénient d'exiger la construction d'autant de circonférences qu'il y a de points d'incidence, circonférences dont quelques-unes peuvent avoir des rayons très grands, ce qui rend le graphique difficile. Mais elle présente, au point de vue théorique, un très grand intérêt, parce qu'elle se rattache directement à la construction et à la détermination de la surface anticaustique. Aussi y reviendrons-nous plus loin.

2me *Procédé.* — Menons par le point d'incidence A (fig. 13) la tangente à la circonférence trace de la surface réfringente, et par le point P_1 une perpendiculaire à cette tangente, c'est-à-dire une parallèle au rayon OA. Nous nous trouvons alors exactement dans les conditions d'une surface réfringente plane et par suite, d'après ce qui a été dit, le rayon réfracté rencontre la normale issue du point P_1 en un point P''_2, tel qu'en désignant par ρ''_2 la longueur AP''_2 on a :

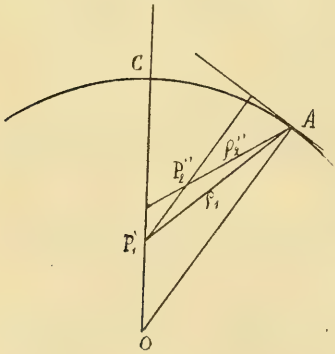


Fig. 13.

$$\rho''_2 = \frac{n_2}{n_1} \rho_1$$

Cette longueur ρ''_2 se construit aisément, et l'on en déduit très facilement le point P''_2 et avec lui le rayon réfracté.

Cette construction est, à tous les points de vue, très simple et permet d'opérer très rapidement. Il suffit, quand on a déterminé

les points d'incidence des rayons que l'on veut construire, de mener par le point P_1 des parallèles aux rayons aboutissant en ces divers points. La construction s'achève alors comme il vient d'être dit.

Ce procédé est le procédé pratique par excellence.

3e *Procédé.* — Nous avons vu, dans le cas d'une surface plane, que, si l'on prend sur la normale au point d'incidence une longueur AB sur laquelle, prise comme diamètre, on décrit une circonférence, cette circonférence rencontre le rayon incident et le rayon réfracté respectivement en des points Q_1 et Q_2, tels qu'en posant $BQ_1 = p_1$, $BQ_2 = p_2$, on a :

$$p_2 = \frac{n_1}{n_2} p_1 .$$

Cette relation détermine la longueur inconnue p_2 en fonction de la longueur connue p_1 ; elle permet donc d'obtenir le point Q_2 et par suite le rayon réfracté.

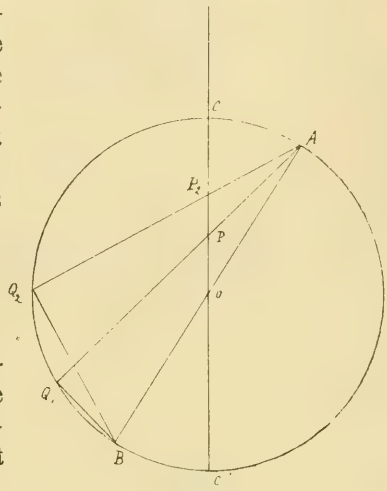


Fig. 14.

Or ici la circonférence dont on a besoin est toute construite : c'est la circonférence même qui représente sur le plan de la figure (fig. 14) la surface réfringente. Elle est d'ailleurs la même pour tous les points d'incidence, et par suite pour tous les rayons réfractés. Aussi cette construction est-elle beaucoup plus simple et beaucoup plus avantageuse que dans le cas d'une surface plane.

Elle peut donc, dans beaucoup de cas, se substituer à la construction précédente.

— Nous complétons cette question de la construction du rayon réfracté par l'établissement de quelques formules dont nous aurons plus tard à faire usage.

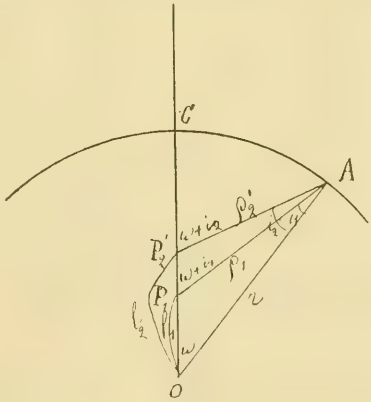


Fig. 15.

Désignons par l_1 et l_2 les longueurs OP_1, OP'_2, comptées posi-

tivement comme l'indique la figure (fig. 15), et par ω l'angle AOC. Les deux triangles O A P_1, O A P'_2 donnent

$$\frac{l_1}{\sin i_1} = \frac{\rho_1}{\sin \omega} = \frac{r}{\sin(\omega + i_1)}$$

$$\frac{l_2}{\sin i_2} = \frac{\rho'_2}{\sin \omega} = \frac{r}{\sin(\omega + i_2)}$$

On tire de là les deux groupes de formules

$$\left\{\begin{array}{ll} (27) & l_1 \sin(\omega + i_1) = r \sin i_1 \\ (28) & l_2 \sin(\omega + i_2) = r \sin i_2 \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{ll} (29) & \rho_1 \sin i_1 = l_1 \sin \omega \\ (30) & \rho'_2 \sin i_2 = l_2 \sin \omega \end{array}\right.$$

Ces formules conviennent à tous les cas, moyennant les conventions de signes sur les longueurs l_1 et l_2, et aussi sur les angles i^1 et i_2, suivant qu'ils sont d'un côté ou de l'autre du rayon OA.

2° **Surface anticaustique.** — Quand tous les rayons incidents émanent d'un même point, il y a symétrie complète autour du diamètre passant par ce point. Ce diamètre est l'axe du système. En particulier la surface anticaustique est de révolution autour de cet axe ; et, par suite, pour la connaître complètement, il suffit d'en déterminer la courbe méridienne située dans un plan méridien quelconque que nous prendrons pour plan de la figure. Nous ferons cette détermination en nous bornant ici au cas de $n_2 < n_1$, c'est à-dire en supposant que la lumière passe d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent.

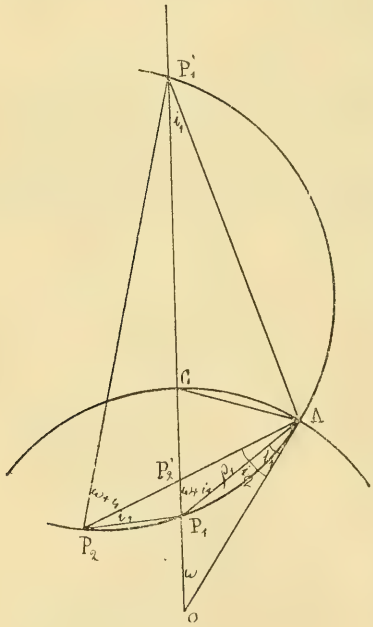


Fig. 16.

Soit donc P_2 (fig. 16) le point de la courbe anticaustique correspondant à un rayon incident P_1 A, point qui se trouve, ainsi que nous le savons, sur la circonférence du segment décrit sur P_1 A comme corde et capable de

l'angle d'incidence i_1. Désignons par P_1' le point où cette circonférence rencontre le diamètre du point P_1. Le quadrilatère $A P_1' P_2' P_1'$ étant inscriptible, on a :

$$\text{ang. } AP_1' P_1 = \text{ang. } AP_2 P_1 = i_1.$$
$$\text{ang. } AP_2 P_1' = \text{ang } AP_1 P_1' = \omega + i,$$

Il en résulte

$$(31) \qquad \text{ang. } P_1 AP_1' = \pi - \omega - 2i_1.$$

Or, si nous menons la corde AC, nous remarquons qu'on a

$$\text{ang } P_1 AC = \text{ang. } OAC - \text{ang. } OAP_1$$

c'est-à-dire

$$(32) \qquad \text{ang } P_1 AC = \frac{\pi}{2} - \frac{\omega}{2} - i_1.$$

L'angle $P_1 AC$ est donc la moitié de l'angle $P_1' AP_1$ et par suite la corde AC est bissectrice intérieure de l'angle $P_1 AP_1'$.

Soit maintenant C′ la seconde extrémité du diamètre du point P_1 ; la corde AC_1' perpendiculaire à AC_1 est bissectrice extérieure du même angle $P_1 AP_1'$.

Il suit de là que les deux points C et C′ sont conjugués harmoniques par rapport aux deux points P_1 et P_1', et que, par suite, réciproquement, les deux points P_1 et P_1' sont conjugués harmoniques par rapport aux points C et C′. Or, les points C, C′ et P_1 sont fixes ; par conséquent, le point P_1' est fixe lui aussi et indépendant du point d'incidence A.

On est ainsi conduit au théorème fondamental suivant :

Théorème. — *Quand des rayons lumineux émanés d'un même point tombent sur une surface réfringente de forme sphérique, les circonferences sur lesquelles se trouvent d'après le théorème déduit (page 283) du théorème de Gergonne, les extrémités des rayons réfractés, passent par deux points fixes, qui sont l'un, le point lumineux* P_1, *l'autre le conjugué harmonique* P'_1 *du premier par rapport aux deux extrémités* C *et* C′ *du diamètre passant par le point* P_1.

On peut obtenir ce même résultat d'une manière plus rapide, en s'appuyant sur cette proposition connue : *Lorsque deux circonférences sont orthogonales, toute sécante commune, passant par le centre de l'une d'elles les coupe en quatre points formant une division harmonique.*

Ce théorème établit une analogie remarquable entre la réfraction sur une surface sphérique et la réfraction sur une surface plane. Il en résulte que les points fixes P_1 et P_1' se trouvent intimement liés aux divers points de la courbe anticaustique, vis-à-vis desquels ils

jouent un rôle analogue à celui que jouent les foyers d'une ellipse vis-à-vis des divers points de celle-ci. Cette analogie se trouve d'ailleurs justifiée par ce fait que si, laissant fixes les points C et P_1, on augmente indéfiniment le rayon de la surface réfringente, celle-ci a pour limite son plan tangent en C, en même temps que le conjugué harmonique du point P_1 par rapport aux points C et C′ a pour limite le symétrique de ce point par rapport au même plan tangent.

Nous avons donc à chercher les relations qui peuvent exister entre le point variable P_2 de la courbe anticaustique et les deux points fixes P_1 et P_1', et par là même à établir un certain nombre de propriétés de cette courbe.

Propriétés de la courbe anticaustique.

De la figure qui vient d'être faite et des explications qui l'accompagnent on déduit immédiatement les propositions suivantes :

1re PROPRIÉTÉ. — *La normale à la courbe anticaustique en un de ses points fait avec les rayons vecteurs de ce point, c'est-à-dire avec les droites qui le joignent aux deux points fixes* P_1 et P_1', *des angles respectivement aux angles* i_1 *et* $\omega + i_1$ *qui caractérisent le rayon incident correspondant.*

2e PROPRIÉTÉ. — *Quand on mène à la courbe anticaustique la normale en un quelconque de ses points et qu'on la prolonge jusqu'à sa rencontre avec la circonférence qui limite sur le plan la surface réfringente, le rapport de la longueur* $P_1 A$ *à la longueur totale* $P_2 A$ *de la normale est constant.*

Considérons maintenant les triangles $P_2 P_1 P_2'$, $P_2 P_1' P_2'$; ils nous donnent

$$\frac{P_2 P_1}{\sin(\omega + i_2)} = \frac{P_1 P_2'}{\sin i_1}$$

$$\frac{P_2 P_1'}{\sin(\omega + i_2)} = \frac{P_1' P_2'}{\sin(\omega + i_1)}.$$

On déduit de là, en divisant membre à membre

$$\frac{P_2 P_1}{P_2 P_1'} = \frac{P_1 P_2'}{P_1 P_2} \cdot \frac{\sin(\omega + i_1)}{\sin i_1}.$$

Or de la relation (27) établie plus haut on déduit

$$\frac{\sin(\omega + i_1)}{\sin i_1} = \frac{r}{l_1}.$$

La relation précédente peut donc s'écrire

$$\frac{P_2 P_1}{P_2 P_1'} : \frac{P_2' P_1}{P_2' P_1'} = \frac{r}{l_1} \tag{33}$$

Cette formule exprime une propriété de la courbe qui peut s'énoncer ainsi :

3me PROPRIÉTÉ. — *Le rapport anharmonique des distances d'un point* P_2 *de la courbe et du point* P_2' *pris sur la normale correspondante aux deux points fixes* P *et* P_1' *est constant.*

Nous pouvons obtenir d'autres propriétés de la courbe, en remarquant que le quadrilatère $A P_1 P_2 P_1'$ est inscriptible, et que par conséquent les théorèmes connus s'appliquent. Indépendamment des relations fournies par ces théorèmes et dans lesquelles ne figurent que les éléments rectilignes de ce quadrilatère, on peut en obtenir d'autres déduites, il est vrai, du même quadrilatère, mais où figurent les angles et parmi eux les angles variables i_1 et i_2 d'incidence et de réfraction.

Ainsi remarquons que l'on a

$$\text{ang. } P_2 P_1' P_1 = \text{ang. } P_2 A P_1 = i_2 - i_1$$

et aussi

$$\text{ang. } P_2 P_1 C' = \omega + i_1 + i_2.$$

Le triangle $P_1 P_2 P_1'$ donne alors

$$\frac{P_1 P_2}{P_1' P_2} = \frac{\sin(i_2 - i_1)}{\sin(\omega + i_1 + i_2)} \tag{34}$$

Cette relation qui fournit l'expression du rapport des rayons vecteurs du P_2 en fonction de l'angle variable i_1 d'incidence constitue une 4e propriété de la courbe anticaustique.

Considérons encore le triangle $A P_1 P_2$; il donne :

$$\frac{P_1 P_2}{A P_1} = \frac{\sin(i_2 - i_1)}{\sin i_1}$$

d'où

$$P_1 P_2 = AP_1 \frac{\sin(i_2 - i_1)}{\sin i_1}$$

ou

$$P_1 P_2 = \rho_1 \frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin i_1} \tag{35}$$

De la relation (34) on tire d'ailleurs

$$P'_1 P_2 = P_1 P_2 \frac{\sin(\omega + i_1 + i_2)}{\sin(i_2 - i_1)}$$

et en remplaçant $P_1 P_2$ par sa valeur (35)

$$(36) \qquad P'_1 P_2 = \rho_1 \frac{\sin(\omega + i_2 + i_2)}{\sin i_1}$$

Ajoutons maintenant les équations (35) et (36) ; il vient

$$(37) \qquad P_1 P_2 + P'_1 P_2 = \rho_1 \frac{\sin(i_2 - i_1) + \sin(\omega + i_1 + i_2)}{\sin i_1}$$

Les relations (35), (36) et (37) qui fournissent les valeurs des rayons vecteurs et celles de leur somme en fonction de l'angle d'incidence i_1, constituent une 5e propriété de la même courbe.

On remarquera d'ailleurs que, dans ces trois relations, on peut remplacer P_1 par sa valeur

$$\rho_1 = \frac{l_1 \sin \omega}{\sin i_1}$$

tirée du triangle $AP_1 P'_2$. Quant à l'angle ω, il est fourni en fonction de i_2 par la relation

$$\sin(\omega + i_2) = \frac{r \sin i_1}{l_1}$$

déduite du même triangle.

On peut encore remplacer ρ_1 par son expression en fonction de la distance $P_1 C = p_1$ du point P_1 à la surface réfringente. Le triangle $P_1 AC$ donne en effet :

$$\frac{\rho_1}{p_1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\omega}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\omega}{2} - i_1\right)}$$

d'où

$$\rho_1 = p_1 \frac{\cos \frac{\omega}{2}}{\cos\left(\frac{\omega}{2} + i_1\right)}.$$

La relation (37) devient ainsi

$$(37') \quad P_1 P_2 + P'_1 P_2 = p_1 \frac{\cos \frac{\omega}{2}}{\cos\left(\frac{\omega}{2} + i_1\right)} \frac{\sin(i_2 - i_1) + \sin(\omega + i_1 - i_2)}{\sin i_1}$$

— Il est intéressant d'observer, que la courbe anticaustique dont

nous venons d'établir ainsi les propriétés, comprend l'ellipse comme cas particulier. Supposons en effet que les points C et P_1 restant fixes, le centre O de la surface réfringente s'éloigne indéfiniment, la portion de cette surface voisine du point C a pour limite le plan tangent en C qui est fixe par hypothèse. La partie correspondante de la courbe anticaustique relative à la sphère a donc pour limite la courbe anticaustique relative à un plan, c'est-à-dire une ellipse. Les propriétés de l'ellipse doivent donc dériver, comme cas limites, des propriétés qui viennent d'être trouvées. C'est ce qu'il est facile de vérifier, en marquant que l'angle ω a pour limite zéro, lorsque le centre O s'éloigne au-delà de toute limite. Donc, en faisant $\omega = o$ dans les formules ou énoncés ci-dessus, on voit :

1° Que la normale menée par le point P_2 à la courbe anticaustique fait des angles égaux l'un et l'autre à l'angle i_1 d'incidence et que par suite cette normale est bissectrice de l'angle intérieur des deux rayons vecteurs du point P_2 ;

2° Que le rapport de la longueur P_1 A à la longueur P_2 A de la normale est constant ;

3° Que le rapport anharmonique des distances aux deux foyers du point P_2 et du point P_2' pris sur la normale correspondante, est constant et égal à l'unité ;

4° Que le rapport des deux rayons vecteurs du point P_2 a pour valeur

$$\frac{P_1 P_2}{P_1 P_2'} = \frac{\sin(i_2 - i_1)}{\sin(i_2 + i_1)},$$

5° Que la somme de ces rayons vecteurs a pour expression

$$P_1 P_2 + P_1' P_2 = p_1 \frac{\sin(i_2 - i_1) + \sin(i_2 + i_1)}{\sin i_1 \cos i_2} = 2 p_1 \frac{\sin i_2 \cos i_1}{\sin i_2 \cos i_1},$$

ou

$$P_1 P_2 + P_1' P_2 = 2 \frac{n_1}{n_2} p_1.$$

Nous retrouvons ainsi les propriétés connues ou démontrées de l'ellipse.

Pour compléter l'analogie, nous observerons que, si le point P_2 de l'anticaustique peut être obtenu sur la circonférence directrice d'après la longueur AP_2 de la normale calculée à l'aide du théorème de Gergonne, ce qui détermine la direction du rayon réfracté, on peut, inversement, obtenir le point P_2 en prolongement jusqu'à la même circonférence le rayon réfracté dont la direction est supposée connue. Il faut alors démontrer que ce rayon AP_2 est la normale à la courbe anticaustique au point P_2.

La méthode de démonstration est, au fond, analogue à celle qu'on emploie pour démontrer la même propriété dans le cas de l'ellipse, en regardant celle-ci comme caractérisée par la constance de la somme des rayons vecteurs.

Nous allons donner cette démonstration, en appliquant les procédés de la géométrie infinitésimale.

Désignons, pour plus de commodité dans les notations, par M le point de la courbe anticaustique correspondant au rayon incident $P_1 A_1$ (fig. 17) et par r_1 et r'_1 les rayons vecteurs P_1 M et P'_1 M. Soit alors P_1 A′ un rayon incident infiniment voisin de P_1 A_1 et M′ le point correspondant de la courbe anticaustique. Ce point est infiniment voisin du point M, et par suite la direction de la tangente en M à l'anticaustique est représentée, aux infiniment petits près d'ordre supérieur, par la direction de la droite M M′.

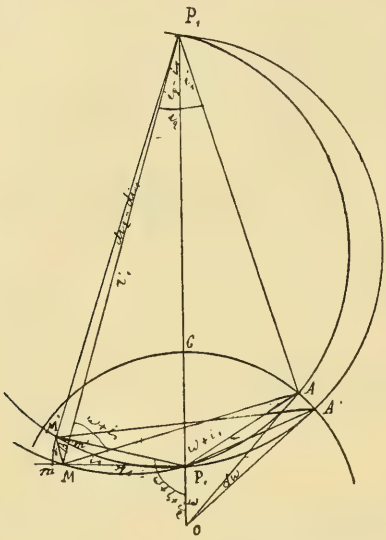


Fig. 17.

Or, décrivons du point P_1 comme centre avec P_1 M′ pour rayon un arc de cercle jusqu'à sa rencontre en m avec le prolongement de P_1 M ; de même, du point P'_1 comme centre avec P'_1 M′ comme rayon, décrivons un autre arc de cercle jusqu'à sa rencontre en m' avec P_1 M. Les longueurs Mm et Mm' représentent les valeurs absolues des différentielles dr_1 et dr'_1 des rayons vecteurs r_1 et r'_1. lorsqu'on passe du point M au point M′, la première différentielle étant positive et la seconde négative. Quant aux arcs infiniment petits M′m, M′m', considérés comme rectilignes, ils sont respectivement perpendiculaires aux droites P_1 M, P'_1 M, et, par suite, l'angle m M′m' est égal à l'angle P'_1 M P'_1. Donc, en tenant compte de la valeur de ce dernier angle, on a :

$$\text{(38)} \qquad \text{ang. } m\,\mathrm{M}'\,m' = i_1 + (\omega + i_2).$$

De plus, ces mêmes arcs, correspondant à des angles au centre

qu'on voit être égaux respectivement à $d\omega + di_1 + di_2$ et à $di_2 - di_1$, ont pour valeurs :

$$M'm = (r_1 + dr_1)\ (d\omega + di_1 + di_2)$$
$$M'm' = (r_1 + dr_1)\ (di_2 - di_1)$$

ou simplement

$$M'm = r_1\ (d\omega + di_1 + di_2)$$
$$M'm' = r'_1\ (di_2 - di_1)$$

Cela étant, désignons par α et β les angles $MM'm$, $MM'm'$, et proposons-nous de les évaluer. Les deux triangles $MM'm$, $MM'm'$, rectangles en m et m', nous donnent à cet effet

$$M'm = MM' \cos \alpha$$
$$M'm' = MM' \cos \beta$$

On déduit de là par division et en remplaçant $M'm$ et $M'm'$ par leurs valeurs précédemment calculées :

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{r_1}{r'_1} \cdot \frac{d\omega + di_1 + di_2}{di_2 - di_1}$$

Or nous avons trouvé plus haut la relation (34).

$$\frac{r_1}{r'_1} = \frac{\sin (i_2 - i_1)}{\sin (\omega + i_2 + i_1)}$$

il vient donc

$$\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{\sin (i_2 - i_1)}{\sin (\omega + i_1 + i_2)} \cdot \frac{d\omega + di_1 + di_2}{di_2 - di_1} \tag{39}$$

Nous avons alors à calculer le rapport différentiel

$$\frac{d\omega + di_1 + di_2}{di_2 - di_1}$$

Pour cela, la relation fondamentale de Descartes nous a déjà donné par différentiation

$$n_1 \cos i_2\, di_1 = n_2 \cos i_2\, di_2 \tag{17}$$

et comme on a :

$$n_2 \sin i_2 = n_1 \sin i_1 ,$$

la multiplication de ces deux relations nous donne

$$\sin i_1 \cos i_2\, di_2 = \sin i_2 \cos i_1\, di_1 .$$

On tire de là

$$di_2 = \frac{\sin i_2 \cos i_1}{\cos i_2 \sin i_1}\, di, \tag{40}$$

et par suite

$$di_2 - di_1 = \frac{\sin (i_2 - i_1)}{\cos i_2 \sin i_1}\, di_1 . \tag{41}$$

De même, de la relation (27) établie plus haut

$$(27) \qquad l_1 \sin(\omega + i_1) = r \sin i_1 ,$$

on déduit par différentiation

$$l_1 \cos(\omega + i_1)(d\omega + di_1) = r \cos i_1 \, di_1 ,$$

d'où

$$d\omega + di_1 = \frac{r}{l_1} \cdot \frac{\cos i_1}{\cos(\omega + i_1)} di_1 ,$$

ou, en tenant compte de la relation (27)

$$(42) \qquad d\omega + di_1 = \frac{\sin(\omega + i_1)\cos i_1}{\sin i_1 \cos(\omega + i_1)} di_1 .$$

Enfin, en ajoutant les formules (40) et (42), on a :

$$d\omega + di_1 + di_2 = \frac{\cos i_1}{\sin i_1} \cdot \frac{\sin i_2 \cos(\omega + i_1) + \cos i_2 \sin(\omega + i_1)}{\cos i_2 \cos(\omega + i_1)} di_1$$

ou

$$(43) \qquad d\omega + di_1 + di_2 = \frac{\cos i_1 \sin(\omega + i_1 + i_2)}{\sin i_1 \cos i_2 \cos(\omega + i_1)} di_1 .$$

Dès lors, en tenant compte des formules (41) et (43), la relation (39) devient

$$(44) \qquad \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{\cos i_1}{\cos(\omega + i_1)}$$

Comme on a déjà

$$\alpha + \beta = i_1 + (\omega + i_2),$$

cette dernière relation entraîne

$$\begin{cases} \alpha = i_1 \\ \beta = \omega + i_1. \end{cases}$$

Donc, de même que la droite M′m est perpendiculaire à $P_1 M_1$ de même la droite M M′ est, elle aussi, perpendiculaire à A M.

Donc, enfin, la droite A M est normale à la courbe, lieu des points M.

Équation de la courbe anticaustique

Désignons (fig. 18) par x_0 et y_0 les coordonnées variables du point d'incidence A par rapport à l'axe O C pris pour axe des y et la perpendiculaire à cet axe pour axe O X ; on a :

$$\begin{cases} x_0 = r \sin \omega \\ y_0 = r \cos \omega \end{cases}$$

Désignons maintenant par x et y les coordonnées de l'extrémité du rayon réfracté A P_2 dont nous continuons à désigner la longueur par ρ_2; nous avons :

$$(45) \qquad \begin{cases} x - x_0 = -\rho_2 \sin(\omega + i_2) \\ y - y_0 = -\rho_2 \cos(\omega + i) \end{cases}$$

Ces équations définissent les coordonnées x et y en fonction de la variable ω, et, par suite, elles peuvent être considérées comme les équations du lieu.

On peut remplacer ces équations par d'autres qui s'en déduisent. Ainsi d'abord, en élevant ces équations au carré et les ajoutant membre à membre, il vient

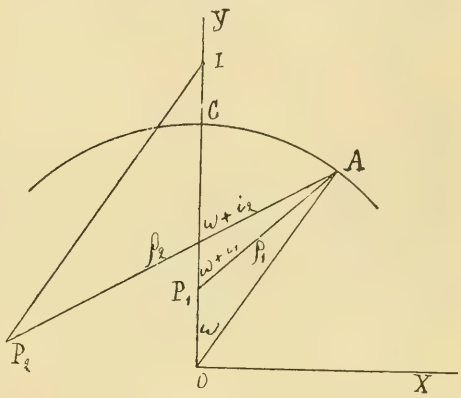


Fig. 18.

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = \rho_2^2$$

ou

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = \frac{n_1^2}{n_2^2}\,\rho_1^2,$$

ou encore

$$46)\ x^2 + y^2 + r^2 - 2r(x \sin\omega + y \cos\omega) = \frac{n_1^2}{n_2^2}(\rho_2^1 + r^2 - 2l_1 r \cos\omega).$$

Cette équation représente la circonférence variable de centre A et de rayon $\rho_2 = \frac{n_1}{n_2}\rho_1$, sur laquelle, d'après le théorème de Gergonne, se trouve le point P_2.

Ecrivons maintenant les équations (45) sous la forme suivante :

$$\begin{cases} x = r \sin\omega - \rho_2 \sin\omega \cos i_2 - \rho_2 \cos\omega \sin i_2 \\ y = r \cos\omega - \rho_2 \cos\omega \cos i_2 - \rho_2 \sin\omega \sin i_2, \end{cases}$$

puis multiplions la première par $\cos\omega$, la seconde par $\sin\omega$, et retranchons la seconde de la première ; il vient :

$$x \cos\omega - y \sin\omega = -\rho_2 \sin i_2,$$

ou en remplaçant ρ_2 et $\sin i_2$ par leurs valeurs

$$x \cos\omega - y \sin\omega = -\frac{n_1^2}{n_2^2}\,\rho_1 \sin i_1,$$

ou enfin, à cause de la relation (29)

$$(47)\quad x\cos\omega - y\sin\omega = -\frac{n_1^2}{n_2^2}\,l_1\sin\omega.$$

On obtient ainsi une seconde équation qui, jointe à l'équation (46), représente la courbe anticaustique. Les deux équations (46) et (47)

$$\left\{\begin{array}{ll}(46) & x^2+y^2+r^2-2r(x\sin\omega+y\cos\omega)=\dfrac{n_1^2}{n_2^2}(\rho_1{}^2+r^2-2l_1r\cos\omega)\\[2ex] (47) & x\cos\omega-y\sin\omega=-\dfrac{n_1^2}{n_2^2}\,l_1\sin\omega\end{array}\right.$$

présentent sur les équations (45) l'avantage de ne contenir que la variable indépendante ω. Mais, de plus, l'équation (47) a une signification très simple : elle représente en effet une droite parallèle au rayon du point d'incidence oA, et passant en outre constamment par un point fixe I situé sur l'axe oy à la distance

$$(48)\qquad oI=\frac{n_1^2}{n_2^2}\,l_1.$$

Cette droite I P_2, parallèle à O A, possède la propriété de passer par le point P_2 de la courbe anticaustique.

Ce résultat, très intéressant par sa simplicité, est surtout d'une grande importance pour la question, qui nous occupe, de la construction du rayon réfracté et de la détermination de la courbe anticaustique. Il nous permet, en effet, dans toute circonstance, de nous passer de la circonférence directrice qui nous a été d'une si grande utilité dans nos raisonnements, mais qui n'est pas sans présenter des inconvénients du côté graphique ; car, même en faisant abstraction du temps exigé par la construction des circonférences assez nombreuses qu'on est obligé de construire, on se trouve souvent en présence de difficultés d'exécution provenant de la grandeur de leurs rayons. Le maniement des instruments devient alors incommode, sans compter que le centre peut être rejeté en dehors des limites de l'épure. On conçoit d'ailleurs que cette construction assez délicate par elle-même, soit très facilement le point de départ d'un manque de précision très regrettable dans une question où nous nous proposons d'introduire une exactitude aussi grande que possible dans la pratique comme dans la théorie.

Le *pôle*, dont nous venons de démontrer l'existence, est absolument caractéristique de la courbe anticaustique correspondant à une surface sphérique. Dans le cas où la surface réfringente est

plane et où par suite l'anticaustique se réduit à une ellipse, le pôle est rejeté à l'infini et ne peut avoir aucune utilité. Il n'en est pas de même dans le cas qui nous occupe ; l'emploi du pôle nous fournit une nouvelle méthode s'ajoutant à celles que nous avons données pour la construction du rayon réfracté.

Cette méthode consiste à mener par le pôle I une parallèle au rayon qui aboutit au point d'incidence A, puis à décrire de ce dernier point comme centre avec un rayon de longueur $\rho_2 = \frac{n_1}{n_2}\rho_1$ *un arcle de cercle coupant cette parallèle en un point qui est le point* P_2.

Nous sommes ainsi en possession de plusieurs méthodes aussi simples que possible, pouvant, suivant les circonstances, se combiner ou se suppléer mutuellement ; et, par suite, nous pouvons considérer le problème proposé comme entièrement résolu.

Il nous reste à ajouter que, pour avoir l'équation explicite en x et en y de la courbe anticaustique, il suffit d'éliminer l'angle ω entre les équations (46) et (47). Or, de ces équations on tire

$$\left\{\begin{aligned} \operatorname{Cos}\omega &= \frac{\left\{x^2+y^2+r^2-\frac{n_1^2}{n_2^2}(l_1^2+r_2)\right\}\left(y-\frac{n_1^2}{n_2^2}l_1\right)}{2r\left\{x^2+\left(y-\frac{n_1^2}{n_2^2}l_1\right)^2\right\}} \\ \operatorname{Sin}\omega &= \frac{\left\{x^2+y^2+r^2-\frac{n_1^2}{n_2^2}(l_1^2+r^2)\right\}x}{2r\left\{x^2+\left(y-\frac{n_1^2}{n_2^2}l_2\right)^2\right\}}. \end{aligned}\right.$$

On tire de là en élevant sur carré et en ajoutant :

$$(49)\quad \left\{x^2+y^2+r^2-\frac{n_1^2}{n_2^2}(l_1^2+r^2)\right\}^2 = 4r^2\left\{x^2+\left(y-\frac{n_1^2}{n_2^2}l_1\right)^2\right\}$$

C'est l'équation cherchée. On voit ainsi que la courbe anticaustique rentre dans le groupe des quartiques, et que son équation présente une certaine analogie avec celle de la podaire du cercle. Mais il est intéressant de remarquer que les principales propriétés de la courbe ont pu être obtenues directement et indépendamment de cette équation. Néanmoins l'équation (49) exprime une nouvelle propriété géométrique de la courbe qui est formulée dans l'énoncé suivant. *La longueur qui représente la puissance d'un point quelconque*

de la courbe anticaustique par rapport à la circonférence dont l'équation est

$$x^2 + y^2 + r^2 - \frac{n_1^2}{n_2^2}(l_1^2 + r^2) = o$$

est moyenne proportionnelle entre le diamètre de la circonférence primitive et la distance du point considéré au pôle.

Cette équation présente d'ailleurs le très grand inconvénient de ne pas représenter simplement et exclusivement la courbe anticaustique. En effet, d'après la manière dont elle a été obtenue, elle représente le lieu des points de rencontre des circonférences décrites des divers points de la circonférence de la surface réfringente comme centres avec le rayon variable $\rho_2 = \frac{n_1}{n_2}\rho_1$, avec les diverses parallèles menées par le pôle aux rayons des points d'incidence. Or, sur chacune de ces parallèles, il y a deux points de rencontre, dont un seul appartient à l'anticaustique, et fait partie de l'enveloppe des sphères indiquées dans le théorème de Gergonne, c'est-à-dire de la surface d'onde des rayons réfractés. L'autre point de rencontre appartient à une enveloppe différente prévue dans le même théorème, bien que nous ne l'ayons pas mentionnée. En supposant en effet que les rayons réfractés soient réfléchis par la même surface qui leur a donné naissance, la surface d'onde de ces rayons réfléchis est précisément cette seconde enveloppe.

La courbe représentée par l'équation (49) qui est du 4e degré, est donc en réalité formée de deux courbes qui sont en général distinctes, ce qui n'implique pas pour cela que chacune de celles-ci soient du second degré. On peut dire donc ici que le calcul est en infériorité vis-à-vis de la géométrie, car la méthode graphique ne donne lieu ni à confusion, ni à ambiguïté. On sait en effet, d'après la théorie exposée et par la marche même des rayons, quel est celui des deux points de rencontre qui appartient à la courbe anticaustique, en sorte que celle-ci se construit sans difficulté.

Il n'est pas sans intérêt, au point de vue géométrique, de chercher la nature de la courbe représentée par l'équation (49). Transportons pour cela l'origine au point de l'axe oy ayant pour ordonnée la quantité $\frac{n_1^2}{n_2^2} l_1$, c'est-à-dire précisément au pôle I. L'équation de la courbe devient alors, tous calculs faits

$$(49\ bis)\quad \left\{ x^2 + y'^2 + 2\frac{n_1^2}{n_2^2} l_1 y, - \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2}\left(r^2 - \frac{n_1^2}{n_2^2} l_1^2\right)\right\}^2 = 4r^2(x^2 + y'^2).$$

Si maintenant on transforme en coordonnées polaires, on peut extraire la racine carrée des deux membres, et l'on a

$$\rho^2 + 2\frac{n_1^2}{n_2^2} l_1 \rho \sin \alpha - \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2}\left(r^2 - \frac{n_1^2}{n_2^2} l_1 r^2\right) \mp 2 r \rho = o$$

ou

$$(49\ ter)\quad \rho^2 + 2\left(\frac{n_1^2}{n_2^2} l_1 \sin \alpha \mp r\right)\rho - \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2^2}\left(r^2 - \frac{n_1^2}{n_2^2} l_1\right) = o.$$

On reconnaît la forme polaire de l'équation des *ovales de Descartes*, rapportées à un de leurs foyers pour pôle et à leur axe de symétrie pour axe polaire.

Les résultats précédemment obtenus sont intéressants en ce sens qu'ils établissent une série de propriétés de ces courbes, et qu'ils permettent de les construire par points. Ils mettent aussi en évidence cette propriété remarquable de la circonférence directrice de centre O *d'être le lieu des points du plan tels que le rapport de leurs distances aux ovales de Descartes ainsi construites d'une part, et à un de leur foyer* P_1, *d'autre part, est constant et égal à* $\frac{n_2}{n_1}$. On a ainsi

$$\frac{AP_2}{AP_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Comme d'ailleurs le point P'_1 étant le conjugué harmonique du point P_1 par rapport aux points C et C', on a

$$\frac{AP_1}{AP'_1} = \text{constante},$$

la multiplication de ces deux égalités nous donne

$$\frac{AP_2}{AP'_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \text{constante}.$$

La circonférence O a donc la même propriété relativement aux ovales de Descartes et chacun de leurs deux foyers P_1 et P'_1 ; seule, la valeur constante du rapport change, quand on passe de l'un à l'autre.

Pour compléter cette question, il reste à mettre en évidence la propriété géométrique fondamentale qui sert de définition aux ovales de Descartes. On sait que ces courbes sont définies comme le lieu des points du plan tels qu'il existe une même relation linéaire entre leurs distances à deux points fixes.

Or on a trouvé plus haut (form. 35) pour la distance du point P_2 de l'anticaustique au foyer P_1

$$(35) \qquad P_1 P_2 = \rho_1 \frac{\sin(i_2 - i_1)}{\sin i_1}$$

En remplaçant ρ_1 par sa valeur tirée de la formule (29)

$$(29) \qquad \rho_1 \sin i_1 = l_1 \sin \omega,$$

il vient

$$P_1 P_2 = l_1 \frac{\sin \omega \sin(i_2 - i_1)}{\sin^2 i_1}.$$

Développons le second membre en tenant compte de la relation de Descartes, il vient :

$$(a) \qquad P_1 P_2 = l_1 \frac{\sin \omega}{\sin i_2} \frac{n_1 \cos i_1 - n_2 \cos i_2}{n_2}.$$

Calculons maintenant la distance $I P_2$ du point P_2 au pôle I. Le triangle $I P_2 P_2'$ nous donne

$$I P_2 = I P_2' \frac{\sin(\omega + i_2)}{\sin i_1}$$

$$= (O I - O P_2') \frac{\sin(\omega + i_2)}{\sin i_2}$$

ou

$$I P_2 = \left(\frac{n_1^2}{n_2^2} l_1 - l_2 \right) \frac{\sin(\omega + i_2)}{\sin i_2}$$

En se rappelant la relation (28)

$$(28) \qquad l_2 \sin(\omega + i_2) = r \sin i_2$$

il vient

$$I P_2 = \frac{n_1^2}{n_2^2} l_1 \frac{\sin(\omega + i_2)}{\sin i_2} - r$$

ou encore

$$I P_2 = l_1 \frac{\sin i_2 \sin(\omega + i_2)}{\sin^2 i_1} - r.$$

Développons enfin $\sin(\omega + i_2)$, nous trouvons en définitive

$$(b) \qquad I P_2 = \frac{n_1}{n_2} l_1 \frac{n_1 \cos \omega \sin i_1 + n_2 \sin \omega \cos i_2}{n_2 \sin i_1} - r.$$

Cela étant, multiplions la formule (a) par n_1, la formule (b) par n_2, et ajoutons membre à membre ; il nous vient :

$$n_1 P_1 P_2 + n_2 I P_2 = \frac{n_1}{n_2} \frac{l_1}{\sin i_1} n_1 \sin(\omega + i_1) - n_2 r,$$

c'est-à dire en tenant compte de la relation (27)

$$(27) \qquad l_1 \sin(\omega + i_1) = r \sin i_1$$

établie plus haut :

$$n_1 \, P_1 \, P_2 + n_2 \, I \, P_2 = \frac{n_1^2}{n_2} \, r - n_2 \, r$$

ou enfin

$$\text{(c)} \qquad n_1 \, P_1 \, P_2 + n_2 \, I \, P_2 = \frac{n_1^2 - n_2^2}{n_2} \, r.$$

Cette formule établit la relation linéaire demandée.

Nous pouvons également chercher s'il existe une relation linéaire entre les distances du point P_2 de la courbe aux deux foyers P_1 et P'_1. A cet effet nous remarquons que le théorème de Ptolémée appliqué au quatrilatère inscriptible $A \, P_1 \, P_2 \, P'_1$ (fig. 19) nous donne

$$P_1 \, P_2 . \, AP'_1 + P'_1 P_2 . \, AP_1 = P_1 P'_1 . \, AP_2$$

Or, à cause de triangle $AP_1 \, P'_1$,

$$\frac{AP'_1}{AP_1} = \frac{\sin(\omega \, i_1)}{\sin i_1} = \frac{r}{l_1}$$

il en résulte

$$AP'_1 = \frac{r}{l_1} \, \rho_1.$$

D'autre part

$$AP_2 = \rho_2 = \frac{n_1}{n_2} \, \rho_1.$$

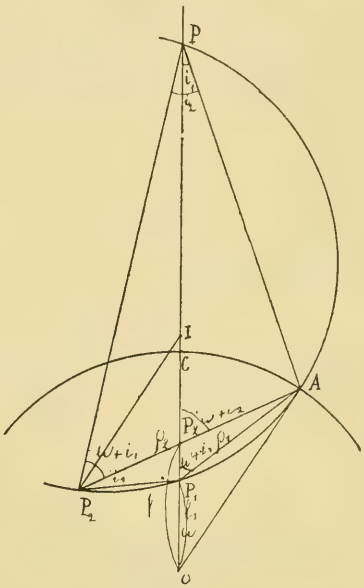


Fig. 19.

Enfin, la distance $P_1 \, P'_2$ des deux foyers est fixe et connue ; on a en effet

$$P_1 \, P'_2 = OP'_2 - OP_1 = \frac{r_2}{l_1} - l_1.$$

En tenant compte de ces résultats, la relation établie plus haut devient, depuis la suppression du facteur commun ρ_1

$$\frac{r}{l_1} P_1 \, P_2 + P'_1 \, P_2 = \frac{n_1}{n_2} \left(\frac{r_2}{l_1} - l_1 \right)$$

ou

$$\text{(d)} \qquad r \, P_1 \, P_2 + l_1 \, P'_1 \, P_2 - \frac{n_1}{n_2} \left(r^2 - l_1^2 \right)$$

Telle est la nouvelle relation linéaire cherchée. C'est la forme

obtenue à l'aide d'une méthode un peu différente, par Sturm qui a le premier prouvé, sans toutefois le prouver explicitement, que la courbe lien du point P est une *ovale de Descartes*.

Les ovales de Descartes constituent une courbe à trois foyers, qui sont ici les points P_1, P'_1 et le pôle I. Ces trois foyers peuvent être associés deux à deux de trois façons ; or, quel que soit le couple considéré, la courbe possède la même propriété exprimée par des relations de même forme. On remarquera que la relation (c), obtenue la première, présente la particularité curieuse d'être indépendante de la longueur l_1, c'est-à-dire de la position P_1, tandis que la relation (d) en dépend.

Nous ajouterons, pour conclure, que, dans le cas particulier de $l_1 = \frac{n_2}{n_1} r_1$ l'équation (49 *bis*) devient

$$\left(x^2 + y'^2 + 2\,\frac{n_1^2}{n_2^2}\,l_1\,y'\right)^2 = 4\,r^2\,(x^2 + y'^2)$$

équation d'un limaçon de Pascal, auquel se réduisent alors les ovales de Descartes.

Diverses formes de la courbe anticaustique. — Indépendamment du rayon r de la surface réfringente, les paramètres de la courbe anticaustique sont : 1° le rapport $\frac{n_1}{n_2}$ des indices de réfraction ; 2° la distance l_1 du point lumineux au centre. Il y a lieu d'examiner l'influence de la variation de ces paramètres sur la forme de la courbe.

Dans les applications, la variation du rapport des indices a relativement peu d'importance, car cette variation ne se fait ordinairement que dans des limites peu étendues. Nous allons voir d'ailleurs que l'influence de cette variation peut être rattachée à celle de la variation de la distance du point lumineux au centre.

La position du point lumineux entraîne, comme nous l'avons vu, celle du pôle, dont la distance au centre a pour valeur $\frac{n_1^2}{n_2^2}\,l_1$. Nous distinguerons alors trois cas suivant que le pôle est intérieur ou extérieur aux deux points fixes P_1 et P'_1, qui sont ici les analogues des foyers de l'ellipse, ou qu'il coïncide avec le point P'_1. Or la distance $O\,P'_1 = l'_1$ de ce dernier point a pour valeur

$$l'_1 = \frac{r^2}{l_1}.$$

(1) Annales de Gergonne, t. xv, page 211. Recherches sur les caustiques, par Ch. Sturns.

Les trois cas mentionnés correspondent donc aux hypothèses suivantes :

$$O\,I < O\,P'_1 \text{ ou } \frac{n_1^2}{n_2^2}\, l_1 < \frac{r^2}{l_1}$$

$$O\,I > O\,P'_1 \text{ ou } \frac{n_1^2}{n_2^2}\, l_1 > \frac{r^2}{l_1}$$

$$O\,I = O\,P'_1 \text{ ou } \frac{n_1^2}{n_2^2}\, l_1 = \frac{r^2}{l_1}.$$

Examinons d'abord cette dernière hypothèse

$$\frac{n_1^2}{n_2^2}\, l_1 = \frac{r^2}{l_1}, \tag{50}$$

d'où

$$O\,P_1 = l_1 = \frac{n_2}{n_1}\, r. \tag{51}$$

On déduit de là

$$O\,P'_1 = l'_1 = \frac{r^2}{l_1} = \frac{n_1}{n_2}\, r.$$

et

$$O\,I = \frac{n_1^2}{n_2^2}\, l_1 = \frac{n_1}{n_2}\, r.$$

Il en résulte

$$O\,P'_1 = O\,I. \tag{52}$$

Nous remarquons ensuite que la courbe anticaustique rencontre l'axe CC′ en deux points D et D′ (fig. 20) faciles à déterminer d'après la relation constante

$$\rho_2 = \frac{n_1}{n_2}\, \rho.$$

On a ainsi

$$CD = \frac{n_1}{n_2}\, CP_1$$

c'est-à-dire

$$OC - OD = \frac{n_1}{n_2}\,(OC - OP_1)$$

ou

$$r - OD = \frac{n_1}{n^2}\,(r - l_1).$$

d'où

$$OD = r - \frac{n_1}{n_2}\,(r - l_1). \tag{53}$$

On a de même

$$C'D' = \frac{n_1}{n_2} C'P_1 ,$$

c'est-à-dire

$$OC' + OD' = \frac{n_1}{n_2} (OC' + OP_1)$$

ou

$$r + OD' = \frac{n_1}{n_2} (r + l_1),$$

d'où l'on tire

$$(54) \qquad OD' = - r + \frac{n_1}{n_2} (r + l_1).$$

En remplaçant dans cette dernière relation l_2 par $\frac{n_2}{n_1} r$, il vient

$$OD' = \frac{n_1}{n_2} r.$$

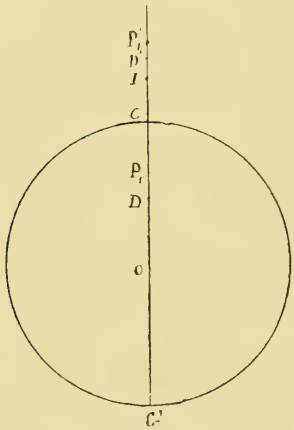


Fig. 20.

Il en résulte

$$OD' = OP'_1 = OI ,$$

en sorte que, dans cette hypothèse, les trois points D', I et P', étant confondus, la courbe anticaustique passe par son pôle et l'un de ses foyers.

Examinons maintenant les deux autres hypothèses et cherchons la position correspondante du pôle par rapport à la courbe anticaustique et à ses deux sommets D et D'. Nous remarquerons d'abord que *l'axe* D D' *de cette courbe a une longueur constante, indépendante de la position du point* P_1. On a en effet

$$DD' = OD' = OD,$$

c'est-à-dire en tenant compte des formules (53) et (54)

$$DD' = - 2 r + 2 \frac{n_1}{n_2} r$$

ou

$$(55) \qquad DD' = 2 \frac{n_1 - n_2}{n_2} r$$

Cela étant, pour désigner la position variable du point lumineux, nous pouvons poser

$$OP_1 = l_1 = K \frac{n_2}{n_1} r,$$

en représentant par K un paramètre variable qui peut être inférieur, égal ou supérieur à l'unité : et alors, les trois hypothèses précédemment formulées, qui équivalent aux suivantes :

$$l_1 < \frac{n_2}{n_1} r$$

$$l_1 > \frac{n_2}{n_1} r$$

$$l_1 = \frac{n_2}{n_1} r,$$

peuvent être remplacées par les trois suivantes :

$$K < 1$$
$$K > 1$$
$$K = 1$$

Or, en remplaçant l_1 par $K\frac{n_2}{n_1} r$, les valeurs de OD, OD′ et OI deviennent

$$OD = K r - \frac{n_1 - n_2}{n_2} r$$

$$OD' = K r + \frac{n_1 - n^2}{n_2} r$$

$$OI = K \frac{n_1}{n_2} r.$$

On tire de là

$$OI - OD = \frac{(1 + K)(n_1 - n_2)}{n_2} r$$

$$OD' - OI = \frac{(1 - K)(n_1 - n_2)}{n_2} r.$$

En supposant toujours $n_1 > n_2$, la première différence n'est jamais ni nulle ni négative, et par suite on a toujours OI > OD. Quant à la seconde différence, elle est positive, nulle ou négative, suivant que l'on a $K < 1$, $K = 1$, ou $K > 1$. Cela entraîne les conséquences suivantes :

1° $K < 1$. Le pôle I est intérieur à la courbe anticaustique ;

2° $K = 1$. Le pôle I coïncide avec le sommet D′ de la courbe ;

3° $K > 1$. Le pôle I est extérieur à la courbe et du côté de son sommet D′ le plus éloigné du centre.

Pour trouver et interpréter la forme de la courbe dans ces différents cas, nous remarquerons que, dans l'hypothèse adoptée de $n_2 < n_1$, il faut tenir compte du phénomène de la réflexion totale

qui entraîne, au point de la réfraction, l'existence d'un angle d'incidence limite λ déterminé par la relation

$$\sin \lambda = \frac{n_2}{n_1}$$

Or, quand le point lumineux P_1 est à l'intérieur de la sphère réfringente et que le point d'incidence parcourt d'une manière continue la demi-circonférence de C en C', l'angle d'incidence O A P_1 passe par un maximum qui a lieu lorsque le rayon P_1 A est perpendiculaire au diamètre CC'. Cet angle maximum μ a pour valeur

$$\sin \mu = \frac{l_1}{r},$$

c'est-à-dire

$$\sin \mu = K \frac{n_2}{n_1} = K \sin \lambda$$

Donc, si l'on a $K < 1$, on a

$$\mu < \lambda ;$$

si l'on a $K = 1$, on a

$$\mu = \lambda ;$$

et enfin si l'on a $K > 1$, il en résulte

$$\mu > \lambda .$$

Dans les deux premiers cas, tous les rayons incidents se réfractent, et la surface intérieure tout entière de la sphère joue le rôle de surface réfringente. La courbe anticaustique est alors continue, et sa forme rappelle celle d'une ellipse, quand on a $K < 1$.

Cas particulier de K = 1. — Point aplanétique. — Ce cas mérite, au point de vue de la forme de la courbe, une mention spéciale. Pour l'étudier, nous partagerons les rayons incidents en deux groupes. Les rayons du premier groupe sont ceux compris entre le rayon central P_1 C et le rayon P_1 B qui lui est perpendiculaire ; ceux du second groupe sont limités par le rayon P_1 B et le rayon central P_1 C' directement opposé à P_1 C.

Les rayons du premier groupe ne présentent, dans leur réfraction, aucune singularité. Seul, le rayon extrême se distingue des précédents par sa propriété de passer par le pôle, qui est, comme nous l'avons vu dans ce cas, le second sommet de l'anticaustique. Il est en effet tangent en B à la circonférence, puisqu'il est le rayon réfracté correspondant à l'angle d'incidence $OBP_1 = \mu$ qui se confond avec l'angle limite λ, et, par suite s'il passe par le point

P'_1 ou D' conjugué harmonique du point P_1 par rapport à C et C'. En raison de cette circonstance, et, en tenant compte de la symétrie par rapport à CC', la partie de la courbe anticaustique qui correspond aux rayons de ce groupe est déjà complètement fermée; et, comme les tangentes en D' sont parallèles aux rayons OB, OB' passant par les points d'incidence des rayons extrêmes, et font par suite un angle égal à l'angle BOB', cette courbe affecte la forme d'une poire. Cette courbe fermée piriforme est la boucle intérieure du limaçon de Pascal, dans lequel se transforment dans ce cas les ovales de Descartes, suivant la remarque faite plus haut.

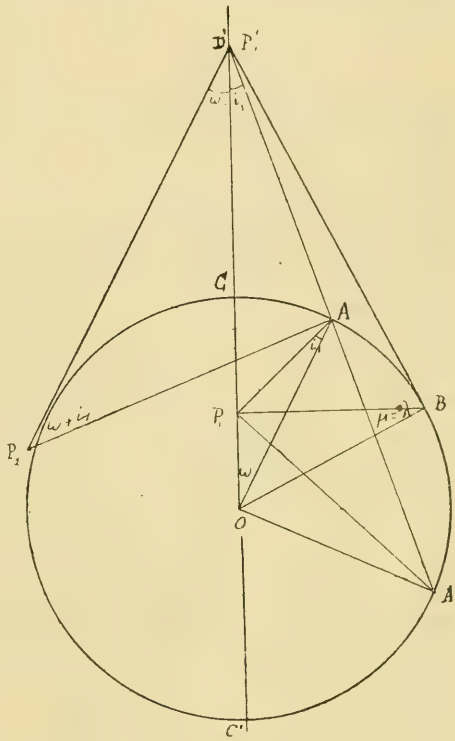


Fig. 21.

Les rayons de ce groupe présentent encore une propriété à signaler. Soit en effet (fig. 21) P_1 A un de ces rayons et A P_2 le rayon réfracté correspondant rencontrant en P_2 la courbe anticaustique, dont le pôle est, dans le cas considéré en D', la droite D' P_2 étant alors la parallèle au rayon O A passant par le point d'incidence. Il en résulte qu'on a

$$\text{ang } P_1\, D'_1\, P_2 = \text{ang } P_1\, O\, A = \omega.$$

Mais le point D' se confond encore avec le conjugué harmonique P'_1 du point P_1 et alors, en tenant compte de la circonférence qui, d'après la théorie générale, passe par les quatre points $A_1 P_1$, P'_1 ou D' et P_2, on a

$$\text{ang } A\, D'\, P_1 = i_1$$

on a donc

$$\text{ang } A\, D'\, P_2 = \omega + i_1.$$

Mais déjà

$$\text{ang } A\, P_2\, D' = \omega + i_1\,;$$

par conséquent, ces deux derniers angles étant égaux, le triangle $A P_2 D'$ est isocèle, et l'on a

$$A D' = A P_2$$
$$= \rho_2$$

c'est-à-dire enfin

$$A D' = \frac{n_1}{n_2} \rho_1.$$

Donc, le second point de rencontre de la parallèle menée par le pôle D' au rayon OA du point d'incidence et de la circonférence décrite du point A comme centre avec le rayon $\frac{n_1}{n_2} \rho_1$, se confond avec le point D', quel que soit le rayon incident du premier groupe. Or, d'après les explications données plus haut, ce point unique D' représente la seconde partie de la courbe représentée par l'équation générale (49), du moins en ce qui concerne les rayons du premier groupe que nous considérons. Par conséquent, la droite AD' représente le prolongement du rayon réfléchi auquel donnerait naissance le rayon réfracté P_2 A, s'il se réfléchissait sur la surface réfringente, ainsi qu'on peut d'ailleurs le vérifier par les valeurs que prennent les angles OAP_2, OAD'.

Prolongeons maintenant la droite D'A jusqu'à la seconde rencontre en A' avec la circonférence réfringente, et menons la droite P_1 A'. Cette dernière peut être regardée comme un rayon incident du second groupe que nous n'avons pas encore examiné. Menons le rayon OA', et considérons les deux triangles P_1 OA' et A' OD'. Ils ont l'angle en O commun ; de plus, à cause des égalités

$$OP_1 = \frac{n_2}{n_1} r$$

$$OP'_1 = \frac{n_1}{n_2} r,$$

qui sont ici vérifiées, on a :

$$\frac{OA'}{OP_1} = \frac{OD'}{OA'} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Ces deux triangles sont donc semblables, et comme d'après les égalités précédentes, le rapport de similitude du plus grand triangle au plus petit est égal à $\frac{n_1}{n_2}$, on a aussi :

$$\frac{A'D'}{A'P_1} = \frac{n_1}{n_2},$$

ou

$$A'D' = \frac{n_1}{n_2} A'P_1 .$$

Il suit de là que A'D' représente la longueur du rayon réfracté correspondant au rayon incident $P_1 A'$. Comme d'ailleurs le point D' est le pôle de la courbe anticaustique, la construction qui utilise ce point pour fournir le rayon réfracté montre que ce rayon n'est autre que A'D'.

On voit ainsi que les rayons réfractés correspondant aux rayons du second groupe possèdent la propriété remarquable de passer tous, sans exception aucune, par le pôle D', et que, par conséquent, la portion de l'anticaustique correspondant aux rayons du second groupe se réduit à un point unique qui est à la fois le pôle de la courbe anticaustique totale, le second sommet de cette courbe et le conjugué harmonique du point lumineux P_1 par rapport aux deux points C et C^1.

Cette position particulière du point P_1 est donc à tous les points de vue très intéressante. Toutefois cette dernière circonstance est la plus intéressante de toutes et celle qui peut fournir des applications utiles. Les rayons réfractés du second groupe ayant la propriété absolument exclusive à ce cas de rencontrer l'axe du système en un même point, le point P_1 est, pour cette raison, désigné sous le nom de *point aplanétique*.

L'existence du point aplanétique avait déjà été signalée notamment par Verdet (Conférences de physique, tome II, page 874), par Dippel (*Das Microscop und Seine Anwendung*, page 50) par Sturm lui-même, dans le mémoire cité plus haut ; mais elle n'avait été jusqu'à présent rattachée à aucune théorie géométrique générale. On y était en général conduit par les calculs si compliqués et si obscurs à l'aide desquels on essaye de mesurer les aberrations, et c'est ainsi que M. Wallon a été amené à dire dans ses *Leçons d'optique géométrique* (page 105), que ce point n'est aplanétique qu'aux termes en y^4 près de son calcul, alors qu'il est absolument et rigoureusement aplanétique.

Le point aplanétique est d'une importance encore plus grande en pratique qu'en théorie. On voit, par ce qui précède, quelle étendue considérable de la surface d'une sphère peut être utilisée pour faire converger rigoureusement en un même point tous les rayons réfractés, lorsque le point lumineux occupe la position indiquée ; on a en même temps l'explication d'un fait qui a presque toujours semblé paradoxal dans la construction des objectifs pour micros-

copes, savoir l'emploi d'une lentille de forme hémisphérique pour recueillir les rayons lumineux émanés de l'objet. « Les construc-
» teurs, dit Verdet, furent conduits à augmenter et à utiliser toute
» la surface des objectifs, et ils le firent avec un succès étonnant.
» On ne comprend pas, en effet, comment, en recevant des rayons
» inclinés sur la normale d'un angle qui va jusqu'à 70 degrés, on
» peut avoir des images nettes ; dans ces conditions, les meilleures
» objectifs astronomiques ne donneraient que des images extrê-
» mement confuses. Les meilleurs constructeurs, Nachet, Hartnack,
» obtiennent d'excellents résultats en recevant sur un objectif
» un cône de rayons luminenx émanés d'un point unique et de
» 140 degrés d'ouverture : ceci dépasse entièrement les limites que
» l'on admet dans la théorie ordinaire des lentilles. »

Les constructions et la figure précédente expliquent les faits autrement que par une simple constatation expérimentale, et mettent en évidence la supériorité du procédé géométrique sur les diverses méthodes de calcul.

Nous ajouterons que le point aplanétique est en réalité unique. Néanmoins, lorsque le point lumineux, sans coïncider avec le point aplanétique, est dans son voisinage, il y a, par le fait de la continuité, un écart qui peut être très faible, c'est-à-dire une aberration longitudinale de très faible valeur. Cela tient à ce que, pour des positions voisines du point aplanétique, la courbe anticaustique à une forme qui peut se rapprocher beaucoup de la précédente. En partageant encore les rayons incidents en deux groupes séparés par le rayon perpendiculaire au diamètre CC′, on voit que les rayons du premier groupe, qui correspondent à la partie la moins étendue de la sphère donnent naissance par réfraction à un arc très étendu de la courbe anticaustique, tandis que les rayons du second groupe ne fournissent qu'un arc beaucoup plus petit, lequel, dans le cas limité au point aplanétique, se réduit à un point. L'aberration a donc, dans ces conditions, une valeur assez faible pour pouvoir être négligée même dans la pratique, et cela montre de quel avantage peut être, au point de vue de la netteté des images, l'existence du point et de la région aplanétique environnante.

— Il nous reste à examiner ce qui arrive lorsqu'on a $K > 1$. Ainsi qu'on l'a vu plus haut, l'angle maximum désigné par μ est plus grand que l'angle limite λ. Il en résulte que les rayons incidents soit du premier groupe, soit du second, ne se réfractent pas tous.

En partant des positions extrêmes P_1 C et P_1 C′ (fig. 22), et en tournant d'une manière continue, on arrive aux positions P_1 L, P_1 L′, pour lesquelles l'angle d'incidence est égal à l'angle limite. Il suit de là que la partie de la sphère correspondant à l'arc L L′ n'intervient pas dans la réfraction. Il y a donc, dans le cas présent, deux groupes de rayons réfractés très nettement séparés l'un de l'autre, auxquels correspondent deux arcs d'anticaustique également séparés l'un de l'autre. La courbe anticaustique est donc, dans le cas actuel, composée de deux parties limitées et distinctes l'une de l'autre, les tangentes aux points extrêmes étant les parallèles menées par le pôle aux rayons menés par les points incidents extrêmes.

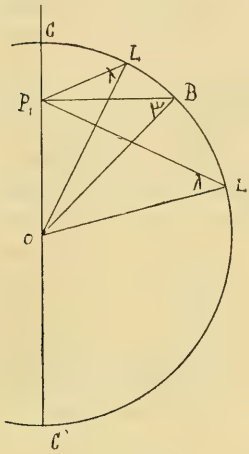


Fig. 22.

Nous avons supposé, jusqu'à présent, le point lumineux P_2 intérieur à la sphère réfringente. Quand il lui est extérieur, on se trouve dans le troisième cas où l'on a $K > 1$, et par conséquent la courbe anticaustique se compose de deux parties séparées. La seule remarque à faire, consiste à observer que, pour interpréter la marche des rayons lumineux comme correspondant au passage de la lumière du milieu intérieur d'indice n_1 dans le milieu extérieur d'indice n_2, il faut supposer que les rayons du premier groupe correspondant à la partie de la sphère la plus voisine du point P_1. forment, non pas un faisceau divergent comme dans le cas du point intérieur, mais au contraire un faisceau convergent, les rayons qui le forment étant arrêtés par la sphère réfringente avant leur convergence.

En raison de cette circonstance, les rayons incidents des deux groupes ne peuvent pas se réfracter simultanément, comme ils peuvent le faire lorsque le point lumineux est intérieur à la sphère. La même chose arrive d'ailleurs lorsque le point lumineux étant intérieur à la sphère, les rayons lumineux doivent passer du milieu extérieur dans le milieu intérieur. Les figures complètes correspondant à ces différents cas ont alors une signification purement géométrique ; dans la pratique, on n'utilise qu'une portion plus ou moins grande de la surface de la sphère, portion voisine de l'un ou l'autre des points C et C′, à laquelle correspond une des deux parties dont se compose la courbe anticaustique.

3° **Surfaces caustiques.** — Comme dans le cas du plan, la surface caustique se compose de deux parties, dont l'une est l'axe du système, et dont l'autre est une surface de révolution dont il suffit de considérer la courbe méridienne, à laquelle on donne le nom de *courbe caustique* ou simplement de *caustique*.

Cette courbe est la développée de la courbe anticaustique que nous venons d'étudier, et les figures précédentes font connaître sa forme qui, dans un cas, rappelle celle de la développée de l'ellipse et présente, comme elle, quatre points de rebroussement, dont deux sont situés sur l'axe du système, les deux autres étant intérieurs à la surface réfringente. Dans les autres cas, les branches de la caustique sont tangentes à la circonférence qui représente la surface réfringente.

Sans chercher l'équation tangentielle de la caustique, nous nous contenterons de chercher sur chaque rayon réfracté son point de contact avec la caustique. Cette recherche peut se faire géométriquement ou analytiquement.

Procédé géométrique. — Le point cherché est le point de rencontre S d'un rayon réfracté avec le rayon réfracté infiniment voisin. Soient (fig. 23) A et A′ deux points d'incidence infiniment voisins. Menons la droite OS et désignons par ω_2 l'angle AOS. Les triangles ASA′, AP_1A' nous donnent, en négligeant immédiatement les infiniment petits d'ordre supérieur au premier

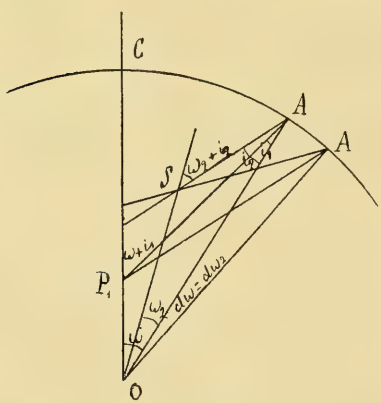


Fig. 23.

$$\frac{AS}{AA'} = \frac{\sin AA'S}{\sin ASA'} \cdot \frac{\cos i_2}{d\omega_2 + di_2}$$

$$\frac{AP_1}{AA'} = \frac{\sin AA'P_1}{\sin AP_1A^1} \cdot \frac{d\omega + di_1}{\cos i_1},$$

d'où par division

$$(56) \qquad \frac{AS}{AP_1} = \frac{\cos i_2}{\cos i_1} \cdot \frac{d\omega + di_1}{d\omega_2 + di_2}.$$

Nous avons déjà trouvé par un calcul antérieur la quantité $d\omega + di_1$, qui a pour expression

$$(42) \qquad d\omega + di_1 = \frac{\cos i_1 \sin(\omega + i_1)}{\sin i_1 \cos(\omega + i_1)} di_1 .$$

Pour calculer la quantité $d\omega_2 + di_2$, nous remarquerons que le point S, et par suite la longueur OS, restent fixes quand on passe du point A au point A′. Par conséquent, en posant $OS = l_2$, le triangle AOS nous donne

$$l_2 \sin(\omega_2 + i_2) = r \sin i_2,$$

d'où l'on tire par différentiation.

$$l_2 \cos(\omega_2 + i_2)(d\omega_2 + di_2) = r \cos i_2 \, di_2.$$

on déduit de l à et de la formule précédente

$$(57), \qquad d\omega_2 + di_2 = \frac{\cos i_2 \sin(\omega_2 + i_2)}{\sin i_2 \cos(\omega_2 + i_2)} di_2 .$$

En tenant compte des formules (42) et (56), et en désignant actuellement par ρ_2 la longueur inconnue AS, la formule (56) devient

$$(48) \qquad \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1} \cdot \frac{\operatorname{tg}(\omega + i_1)}{\operatorname{tg}(\omega + i_2)} \frac{di_1}{di_2} .$$

Or les triangles AOP_1, AOS nous donnent

$$\rho_1 \sin(\omega + i_1) = r \sin \omega$$
$$\rho_2 \sin(\omega_2 + i_2) = r \sin \omega_2 ;$$

et comme

$$\sin \omega = \sin \{ (\omega + i_1) - i_1 \}$$
$$\sin \omega_2 = \sin \{ (\omega_2 + i_2) - i_2 \} ,$$

on tire des formules précédentes

$$\operatorname{tg}(\omega + i_1) = \frac{r \sin i_1}{r \cos i_1 - \rho_1}$$

$$\operatorname{tg}(\omega_2 + i_2) = \frac{r \sin i_2}{r \cos i_2 - \rho_2}$$

On a d'ailleurs

$$\frac{di_1}{di_2} = \frac{\cos i_1 \sin i_2}{\cos i_2 \sin i_1} .$$

A l'aide de tous ces résultats, la formule (58) devient

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\cos i_1 \sin i_2}{\cos i_2 \sin i_1} \frac{r \cos i_2 - \rho_2}{r \cos i_1 - \rho_1} .$$

On transforme aisément cette formule en la suivante

$$(59) \qquad \cos i_2 \left(\frac{\cos i_2}{\rho_2} - \frac{1}{r} \right) \frac{1}{\sin i_2} = \cos i_1 \left(\frac{\cos i_1}{\rho_1} - \frac{1}{r} \right) \frac{1}{\sin i_1} ,$$

qui, non seulement permet de calculer l'inconnue $\rho_2 = AS$, mais

encore conduit directement à la construction géométrique indiquée par M. Mannheim (1) pour la détermination du centre de courbure S de la caustique de réfraction.

Cette construction est la suivante : Par le point P_1 (fig. 24) on mène la perpendiculaire P_1 G jusqu'à sa rencontre en G avec la normale OA. Au point G on élève une perpendiculaire à cette normale jusqu'à sa rencontre en H avec le rayon incident AP_1. On mène ensuite la droite OH que l'on prolonge en H′ sur le rayon réfracté AP_2. On mène alors H′ G′ perpendiculaire à OA, puis G′ S perpendiculaire à AP_2. Le point S est le point cherché.

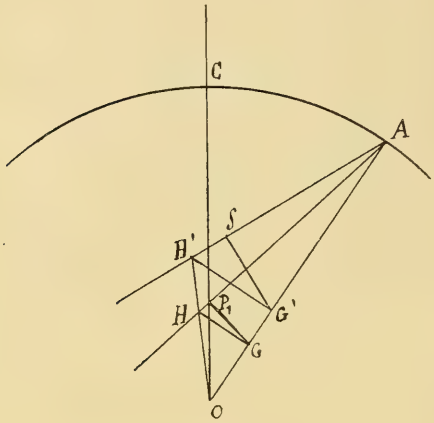


Fig. 24.

Ainsi que le fait remarquer M. Mannheim, cette construction qui est générale et s'applique à la réfraction sur des surfaces quelconques, est réversible, et cela en raison de la réversibilité des rayons incident et réfracté.

Nous pouvons donc, par cette construction un peu longue peut-être, mais au fond simple et symétrique, construire par points la caustique aussi bien que la couche anticaustique ; et cela nous met en possession complète de tous les éléments qui nous sont nécessaires pour la construction des rayons réfractés et des images qu'ils peuvent former par leur rencontre.

Procédé analytique. — Après le calcul qui vient d'être fait, le procédé analytique présente peu d'intérêt. Il consiste comme plus haut, à chercher d'après la méthode ordinaire, l'enveloppe du rayon réfracté déterminé par son équation. On trouverait encore que le point où le rayon réfracté touche la caustique est fourni par sa rencontre avec une droite qui leur est perpendiculaire, et qui est déterminée par sa distance à l'origine.

Quant à la forme de la caustique, elle varie suivant les cas que

(1) Mémoires publiés par la Société Philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation. — Développement de Géométrie cinématique par M. A. Mannheim, pages 51-53.

nous avons précédemment examinés, et desquels dépend la forme de la courbe anticaustique.

Quand on a $K < 1$, de même que la forme de l'anticaustique rappelle celle de l'ellipse, de même la forme de la caustique rappelle celle de la développée d'ellipse. Elle admet sur l'axe CC' deux points de rebroussement, qui sont les foyers conjugués du point P_1 relativement aux portions de la surface de la sphère voisines des points C et C'. Elle admet encore deux autres points de rebroussement symétriques par rapport à CC', et correspondant l'un et l'autre à l'angle d'incidence maximum.

Lorsqu'on a $K = 1$, aux rayons incidents du premier groupe correspond une branche de caustique tangente à l'axe CC' en un point qui est à la fois son point d'inflexion et le foyer conjugué du point P_1 relativement à la portion correspondante de la sphère. Quant aux rayons du second groupe pour lesquels les rayons réfractés convergent en un même point, la caustique correspondante se réduit à ce point unique, qui est tout à la fois le pôle de la courbe anticaustique, le conjugué harmonique du point P_1 par rapport aux points C et C', et le foyer conjugué de ce point relativement à la seconde partie de la sphère.

Enfin, lorsqu'on a $K > 1$, de même que la surface anticaustique se compose de deux parties, de même la caustique est aussi composée de deux parties, dont chacune a un point d'inflexion situé sur l'axe CC' et qui sont l'une et l'autre tangentes à la circonférence aux points d'incidence limites.

Nous limiterons notre exposé à ces considérations. Nous ferons simplement remarquer, en terminant, que les méthodes graphiques indiquées dans le cours de cette étude permettent de construire facilement la marche d'un faisceau de rayons réfractés en nombre aussi grand que l'on veut. Il est possible, en particulier, d'obtenir ce qu'on appelle l'image d'un point pris dans une position quelconque à distance finie ou infinie. En faisant les constructions, on constate : 1° que cette image n'est jamais un point, mais qu'elle correspond à un *étranglement minimum* du faisceau réfracté, d'où résulte un cercle de diamètre toujours sensible ; 2° que la position de ce cercle n'est jamais celle qui lui est assignée d'après la théorie ordinaire. L'écart entre cette image et le foyer conjugué du point, écart qui constitue ce qu'on appelle l'aberration longitudinale, est toujours relativement considérable ; et sa valeur est fournie par le graphique plus facilement et plus exactement que par le calcul.

Sorti des presses en Janvier 1904.

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans le volume V (Neuvième Série)

COUTIÈRE (H.). — Note sur quelques Alpheidæ des Maldives et Laquedives 72

DESCHAMPS (J.). — Caustiques et anticaustiques. 275

DEVEZ (G.). — Recherches d'anatomie comparée sur le cœur des Vertébrés, en particulier des Monotrèmes et des Marsupiaux. 105

Extraits des comptes-rendus des Séances de la Société Philomathique de Paris 12 65

LÉCAILLON (A.). — Sur le développement de l'ovaire du *Polyxenus lagurus* de Geer 70

Liste des Membres de la Société 5

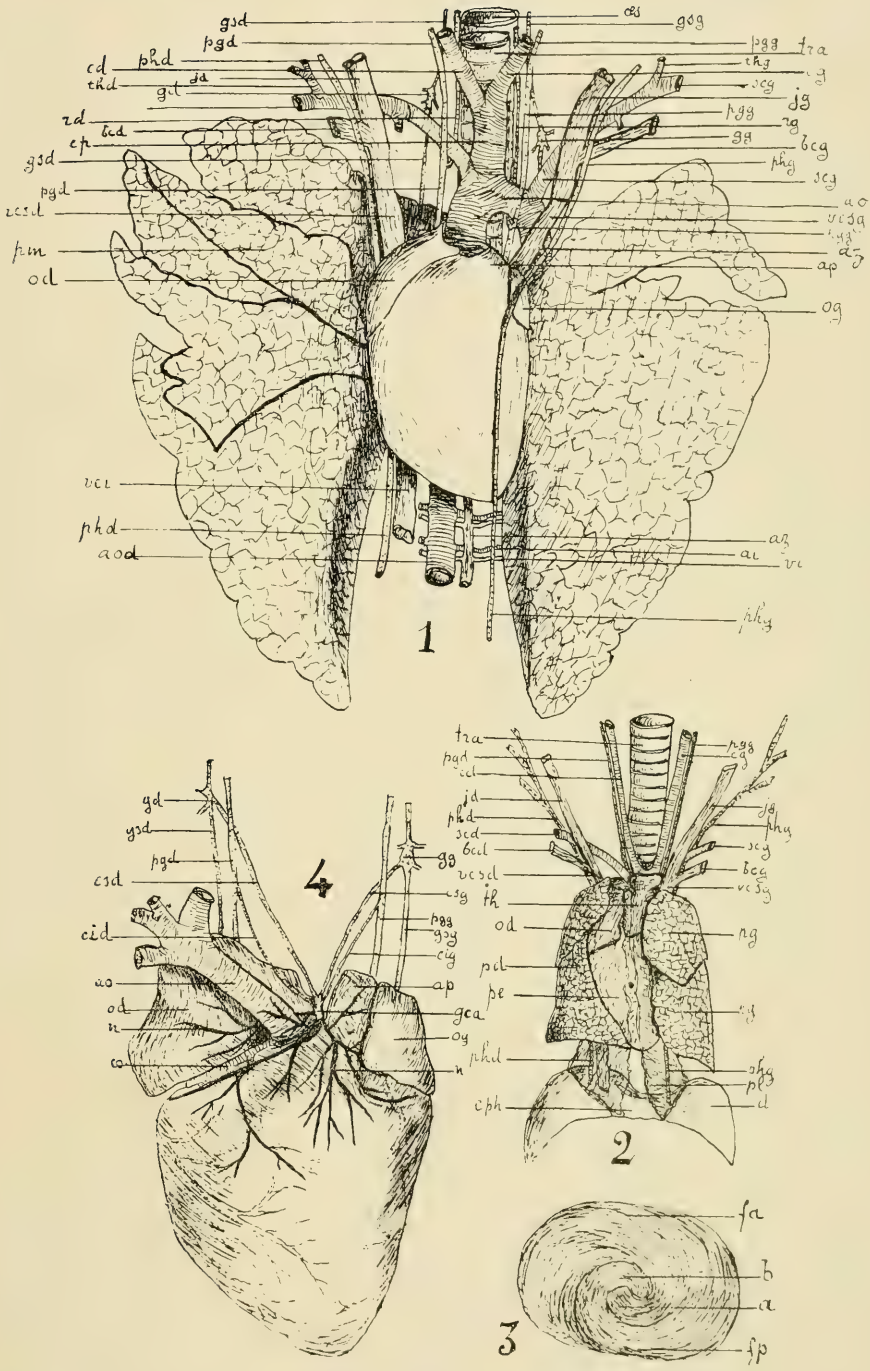
NEUVILLE (H.). — Henri Filhol. Notice sur son œuvre scientifique. 91

LAISANT (C.-A.). — Remarques sur l'utilité des observations souterraines. 19

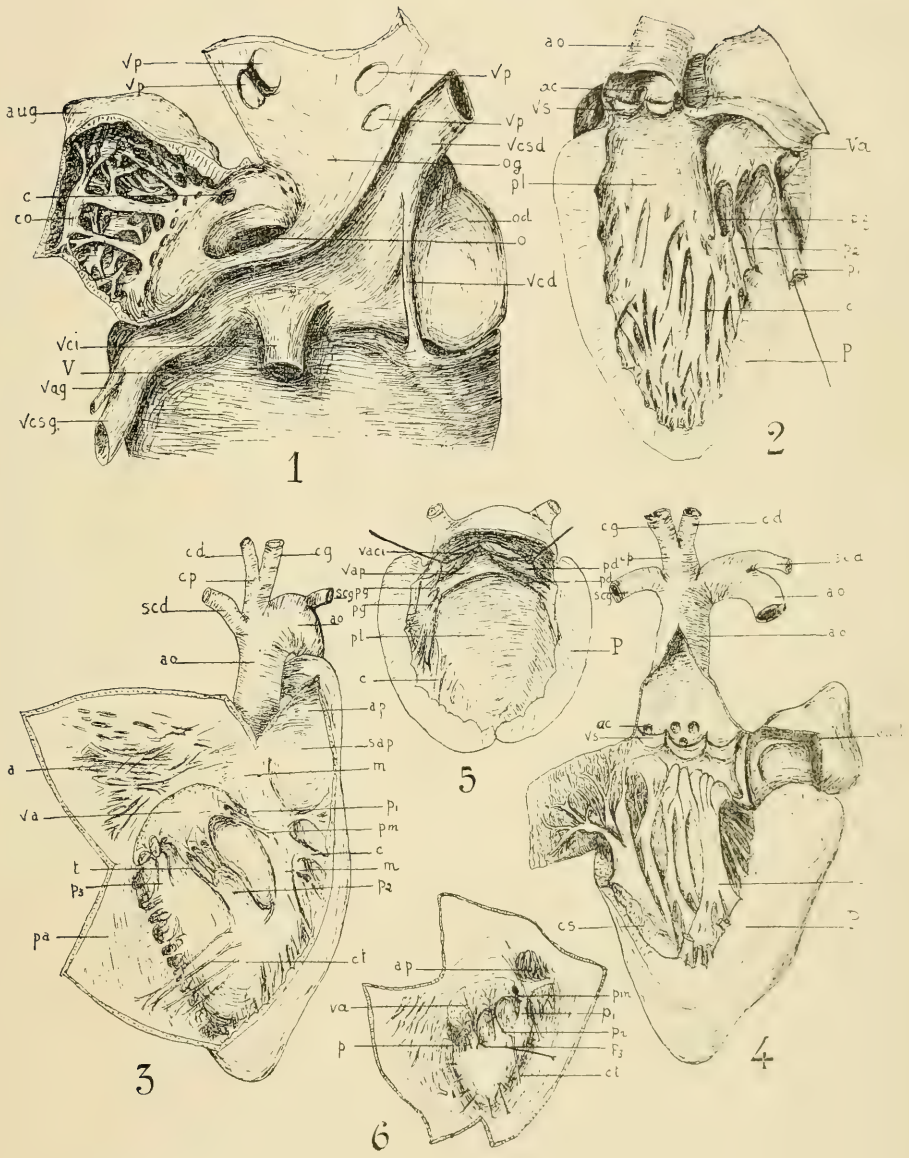
RABAUD (Etienne). — Essai sur la Symélie, son évolution embryonnaire et ses affinités naturelles. 25

Table des matières 331

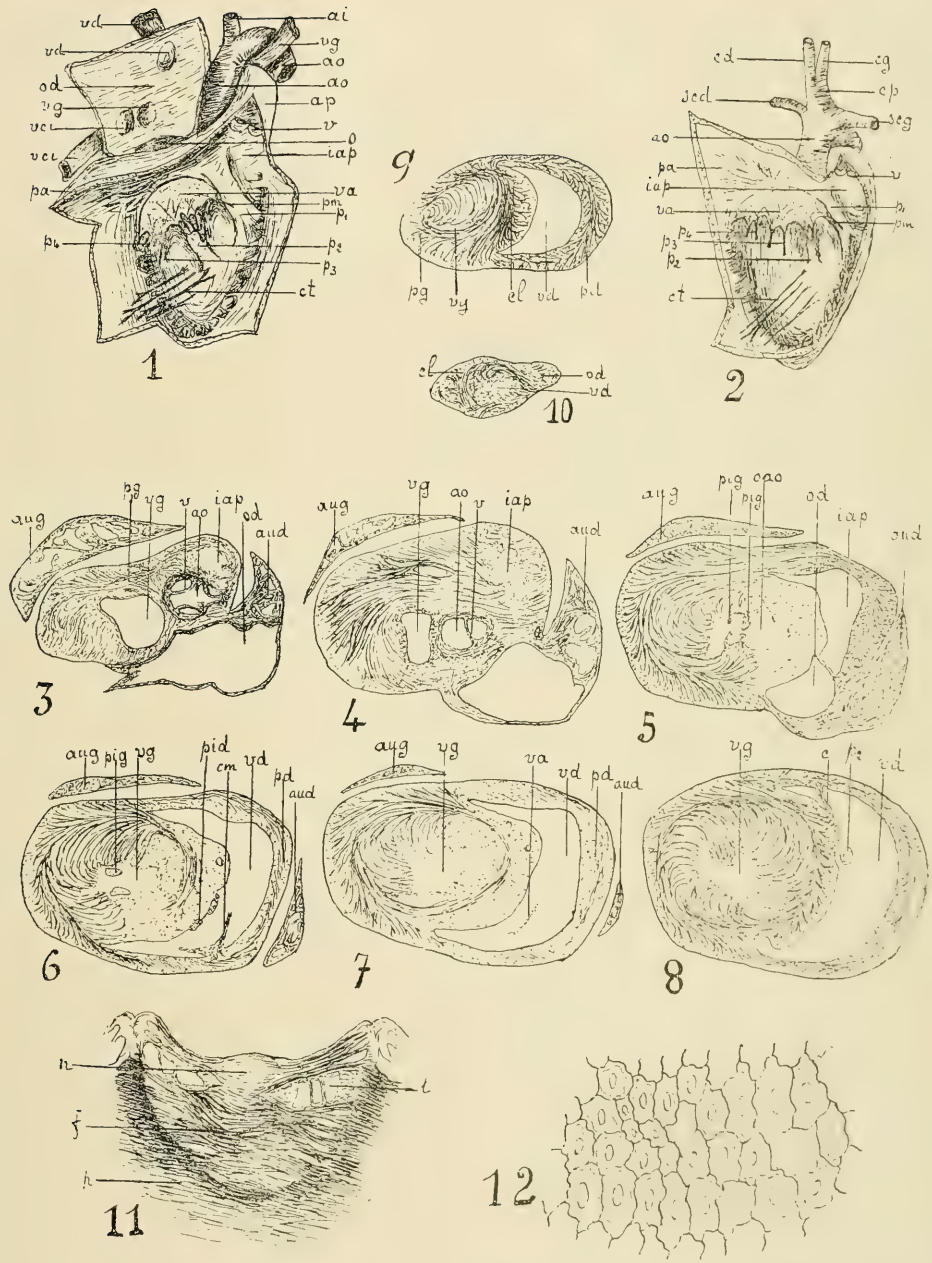
LILLE. — IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES



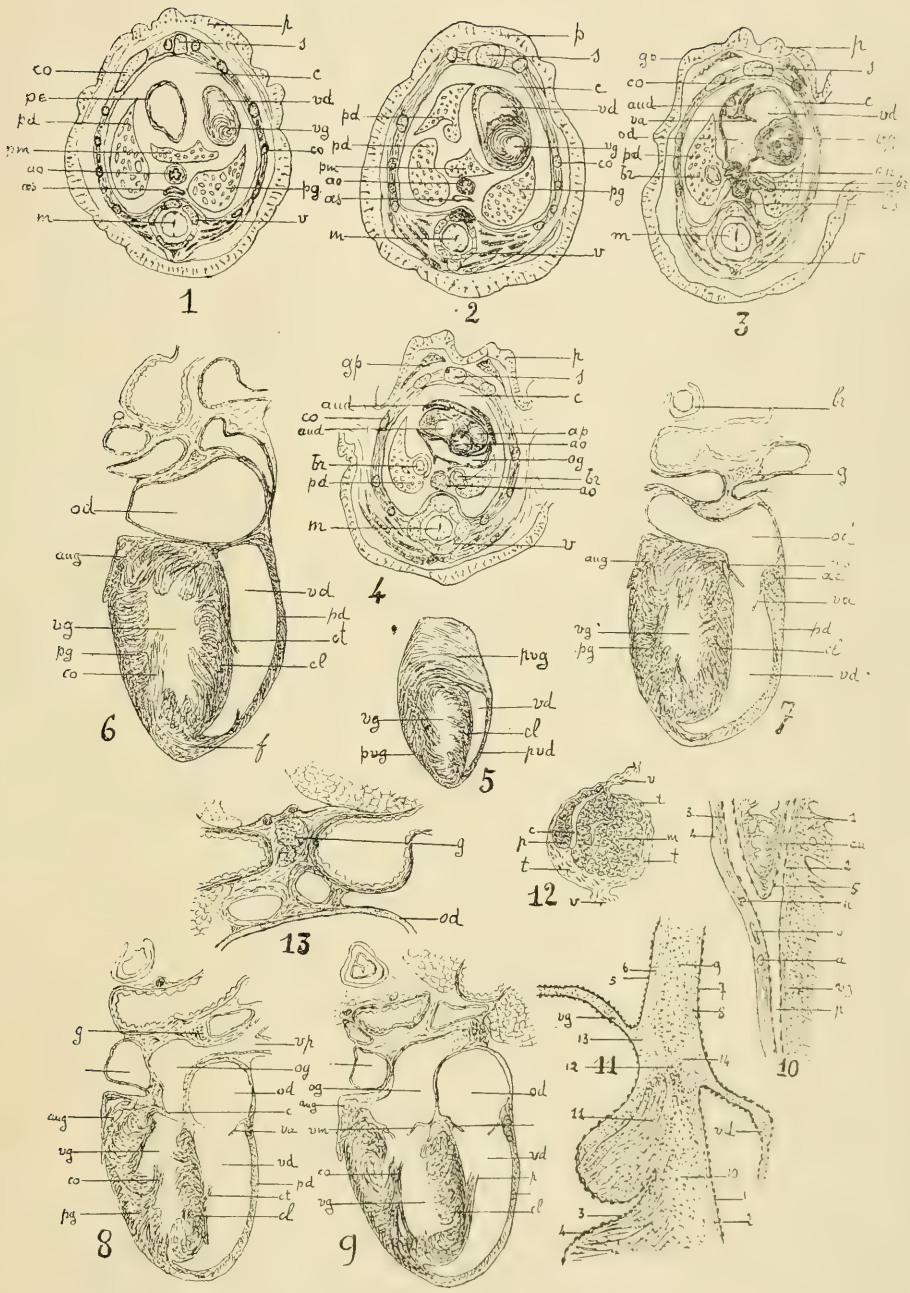
G. DEVEZ. — *Anatomie comparée du cœur des Vertébres.*



G. DEVEZ. — *Anatomie comparée du cœur des Vertébrés.*



G. DEVEZ. — *Anatomie comparée du cœur des Vertébrés.*



G. DEVEZ. — *Anatomie comparée du cœur des Vertébrés.*

TABLE DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE FASCICULE

Pages

Devez (G.). — Recherches d'anatomie comparée sur le cœur des Vertébrés, en particulier des Monotrèmes et des Marsupiaux 105

Deschamps (J.). — Caustiques et Anticaustiques. 275

Table des matières contenues dans le volume V (Neuvième série). . . 331

LE PRIX DES TIRÉS A PART EST FIXÉ AINSI QU'IL SUIT :

	25 ex.	50 ex.	75 ex.	100 ex.	150 ex.	200 ex.	250 ex
	—	—	—	—	—	—	—
Une feuille	4.50	5.85	7.20	8.10	10.60	12.85	14.85
Trois quarts de feuille	4 »	5 »	6.10	7 »	9 »	10.60	12.15
Une demi-feuille	3.15	4 »	5 »	5.60	7.20	8.10	9 »
Un quart de feuille .	2.70	3.60	4.25	4.75	5.60	6.30	8.85
Un huitième de feuille	2 »	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50	5 »
Plusieurs feuilles. . . .	4 »	5.40	6.30	7.20	9 »	11.70	14 »

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

1re série : 1789-1805	3 volumes in-4°
2e série : 1807-1813	3 volumes in-4°
3e série : 1814-1826	13 fascicules in-4°
4e série : 1832-1833	2 volumes in-4°
5e série : 1836-1863	28 fascicules in-4°
6e série : 1864-1876	13 fascicules in-8°
7e série : 1877-1888	11 volumes in-8°
Chaque année pour les Membres de la Société	5 francs
— pour le public	12 francs

Mémoires originaux publiés par la Société Philomathique

A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE SA FONDATION

1788-1888

Le recueil des mémoires originaux publié par la Société philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation (1788-1888) forme un volume in-4° de 437 pages, accompagné de nombreuses figures dans le texte et de 24 planches. Les travaux qu'il contient sont dus, *pour les sciences physiques et mathématiques*, à : MM. Désiré André ; E. Becquerel, de l'Institut ; Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Institut ; Bouty ; Bourgeois ; Descloizeaux, de l'Institut ; Fouret ; Gernez ; Hardy ; Haton de la Goupillière, de l'Institut ; Laisant ; Laussedat ; Léauté ; Mannheim ; Moutier ; Peligot, de l'Institut ; Pellat. *Pour les sciences naturelles*, à : MM. Alix ; Bureau ; Bouvier ; Chatin ; Drake del Castillo ; Duchartre, de l'Institut ; H. Filhol ; Franchet ; Grandidier, de l'Institut ; Henneguy ; Milne-Edwards, de l'Institut ; Mocquard ; Poirier ; A. de Quatrefages, de l'Institut ; G. Roze ; L. Vaillant.

En vente au prix de 35 francs

CHEZ M. REYCKAERT, HÔTEL DES SOCIÉTÉS SAVANTES,
28, RUE SERPENTE, PARIS VIe

LILLE. IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES

1630 (27)

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01526 6703